

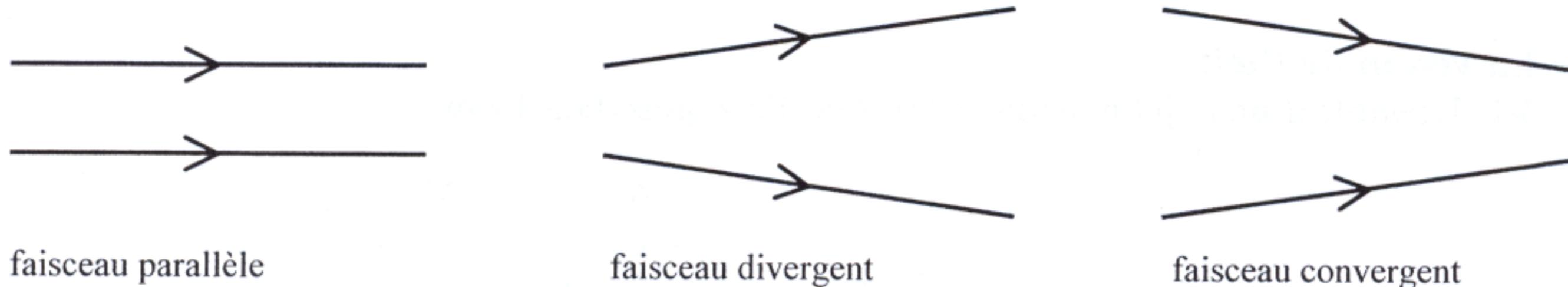
**PRODUIRE
DES IMAGES,
OBSERVER**

LES BASES DE L'OPTIQUE

1- La propagation de la lumière

1-1- Notion de rayon lumineux

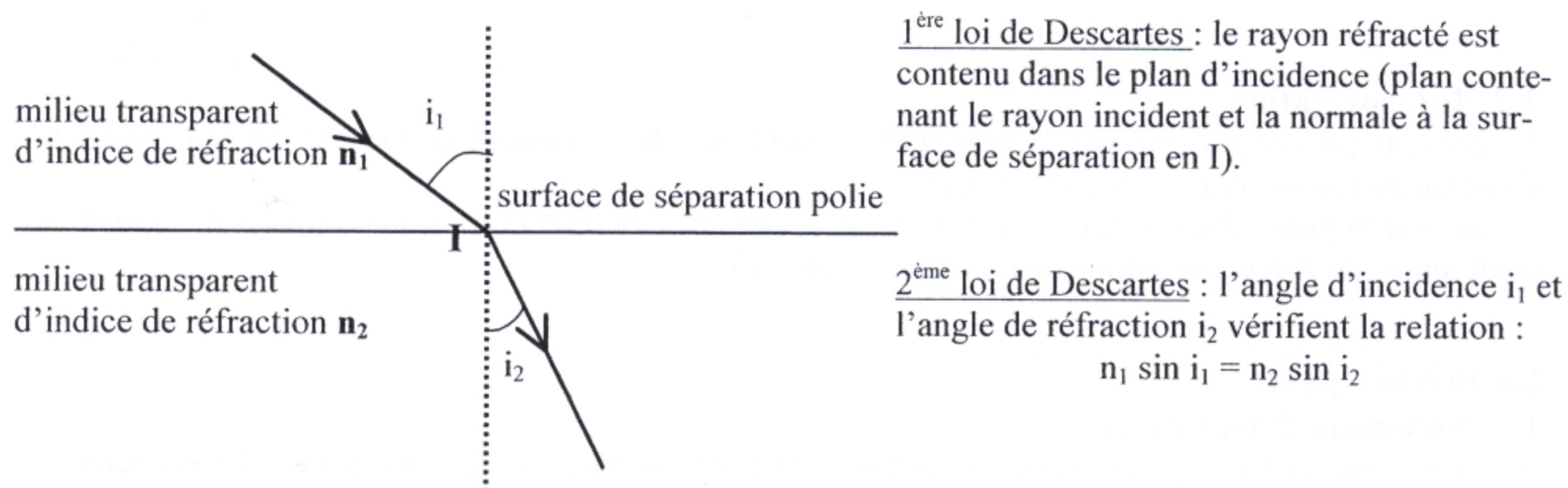
- On considère qu'un faisceau lumineux est constitué d'un ensemble de rayons lumineux indépendants les uns des autres.
- Dans un milieu transparent homogène (indice de réfraction constant), la lumière se propage en ligne droite.



Remarque : ne sont représentés ici que les 2 rayons limitant le faisceau ; c'est ce qui est généralement fait.

1-2- Réfraction

Elle se produit lorsque la lumière aborde la surface de séparation de 2 milieux transparents homogènes.

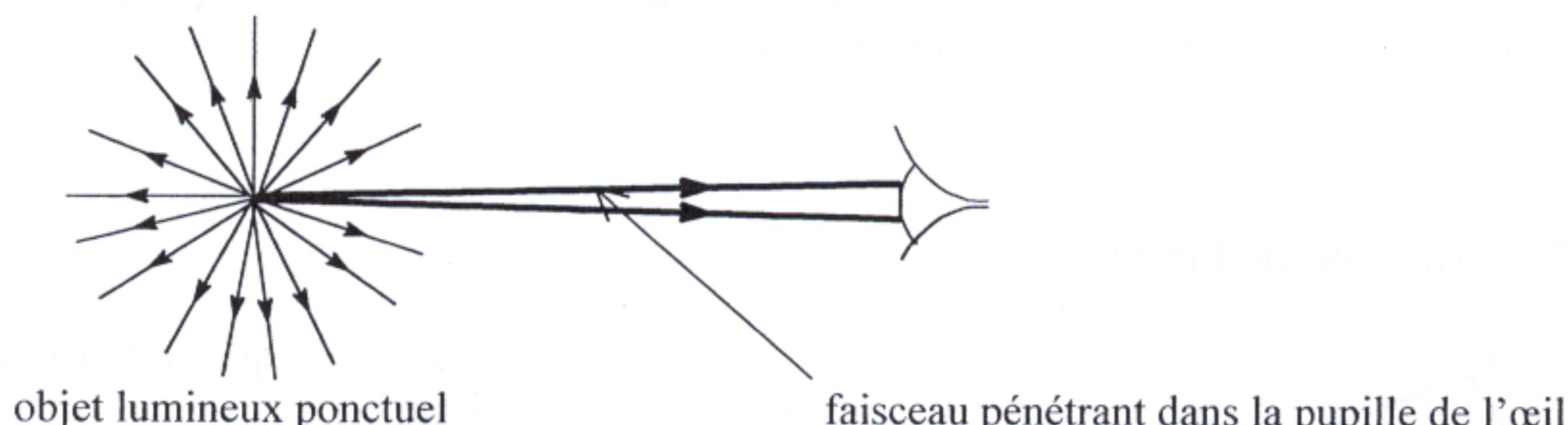


Remarque 1 : il y a une réflexion partielle à la surface de séparation.

Remarque 2 : si $n_2 > n_1$ (exemple verre $n = 1,5$ – air $n = 1$) alors $\sin i_2 < \sin i_1$ soit $i_2 < i_1$

2- Les objets visibles par l'œil

2-1- Les objets lumineux (ils produisent la lumière)



- On ne voit l'objet que si de la lumière émise par l'objet pénètre par la pupille de l'œil.
- Si l'objet lumineux ponctuel est très éloigné (on dit à l'infini), le faisceau pénétrant dans la pupille est parallèle.
- Un objet lumineux étendu est considéré comme la juxtaposition d'objets lumineux ponctuels.

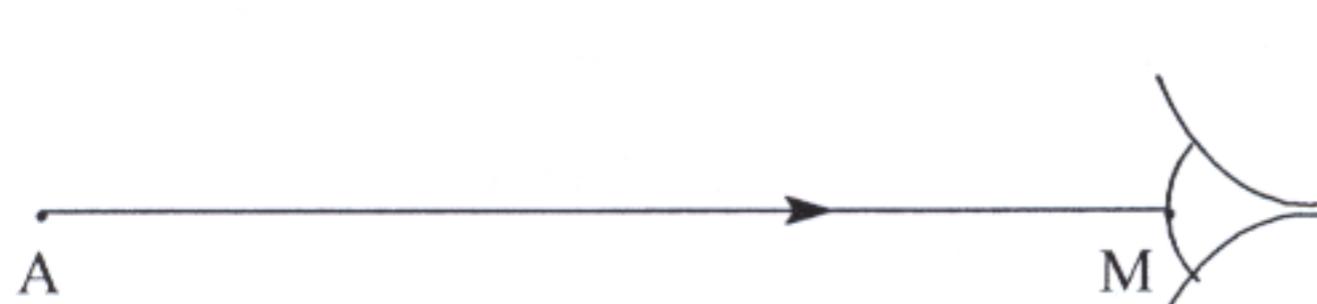
2-2- Les objets éclairés (ils diffusent la lumière qu'ils reçoivent)



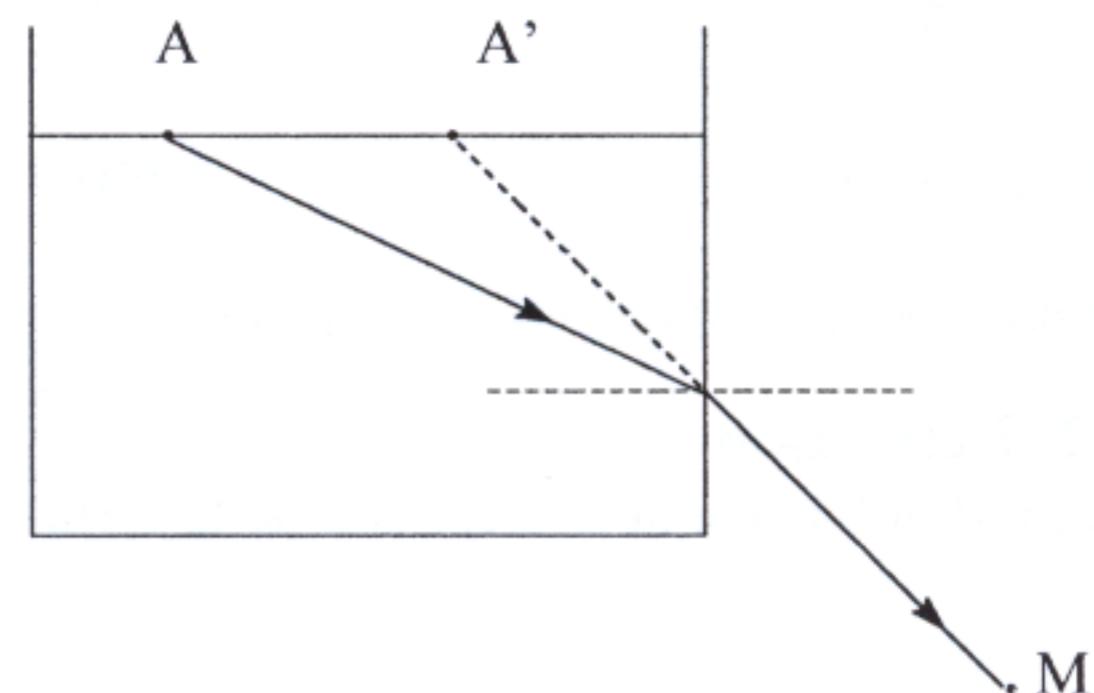
- Chaque point de la surface se comporte comme un objet lumineux ponctuel.
- La surface se comporte comme un objet lumineux étendu.

3- La vision de l'œil

3-1- Exemple d'un objet ponctuel situé dans l'air, puis dans l'eau



La pupille de l'œil est considérée comme réduite au point M.



3-2- Interprétation

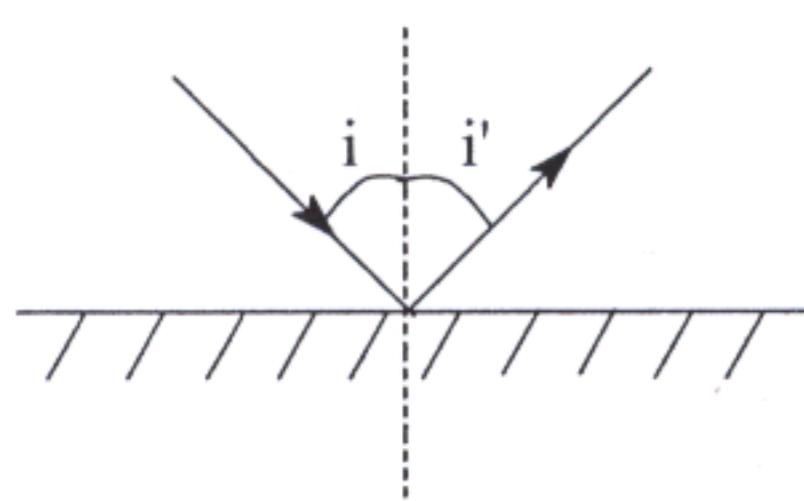
- Le cerveau est conditionné par la propagation rectiligne de la lumière et localise un objet dans la direction du rayon qui pénètre par la pupille.
- On ne voit le point objet A que si la lumière ne change pas de direction ; sinon, on voit A', appelé le point image de A (ceci constitue une illusion d'optique).

4- Le miroir plan

4-1- Structure d'un miroir

Un miroir est une surface opaque polie ; contrairement à une surface opaque non polie, elle réfléchit la lumière au lieu de la diffuser.

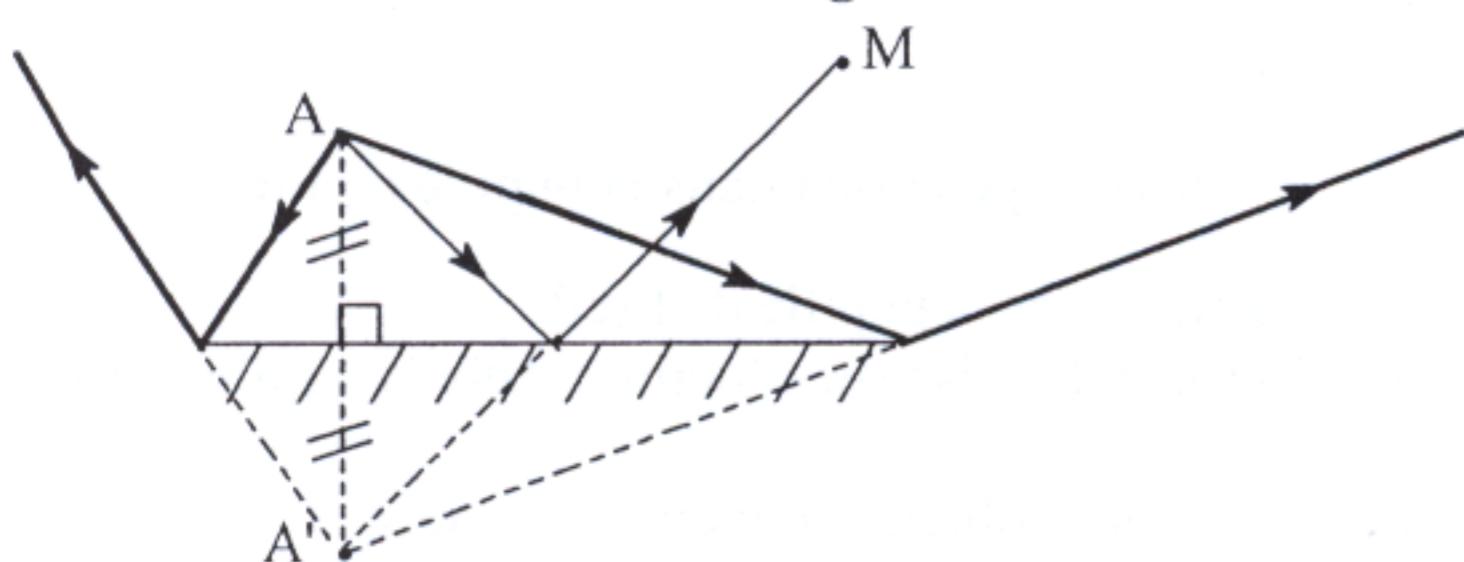
4-2- Lois de Descartes



1^{er} loi de Descartes : le rayon réfléchi est dans le plan d'incidence.

2^{ème} loi de Descartes : l'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence

4-3- Formation de l'image



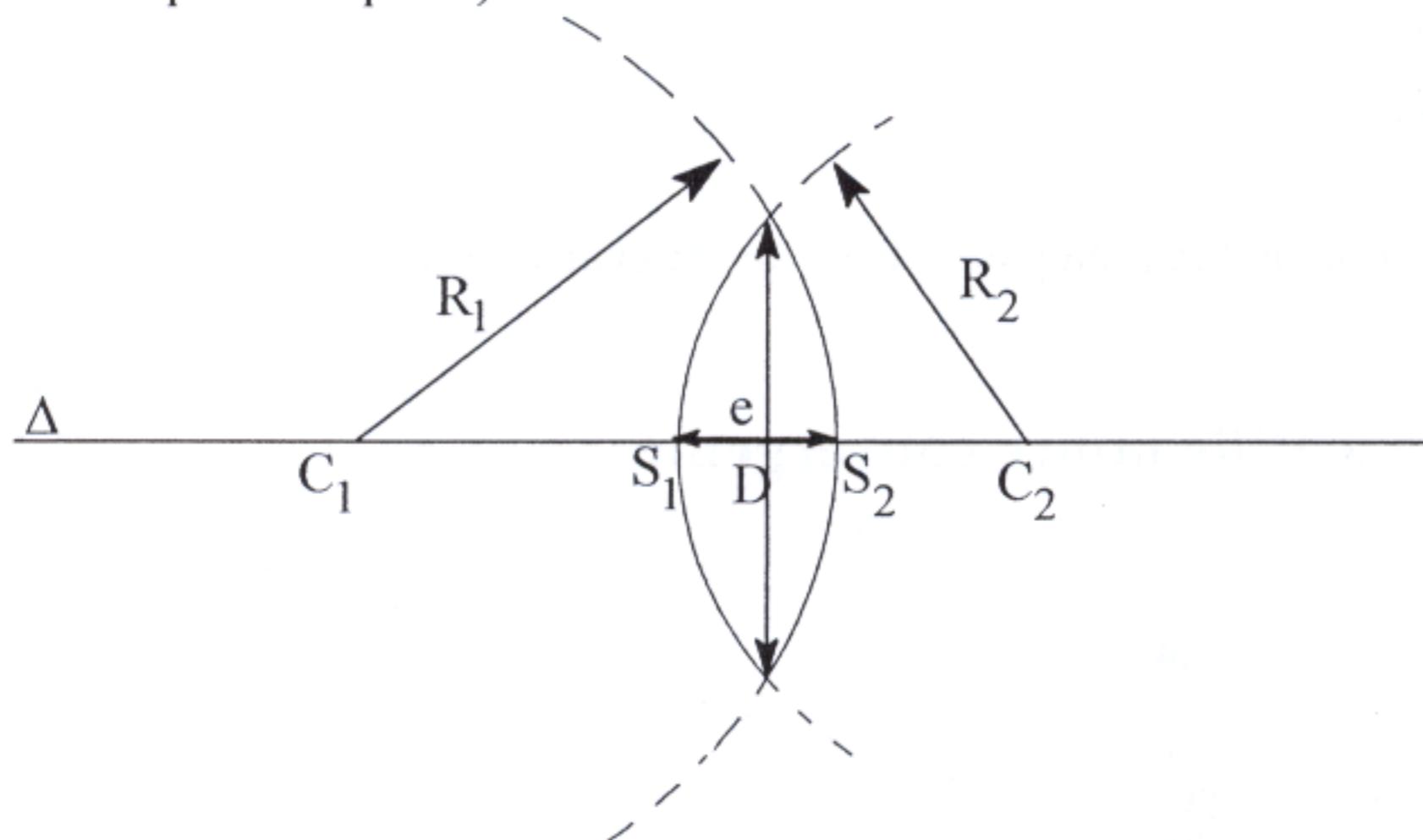
- A' est le symétrique de A par rapport au plan du miroir.
- L'œil ne verra A' que s'il est contenu dans le faisceau réfléchi.

IMAGES DONNEES PAR UNE LENTILLE MINCE CONVERGENTE

1- Description d'une lentille mince convergente

1-1- Généralités sur les lentilles

- Une lentille est un milieu transparent homogène limité par 2 surfaces polies sphériques (l'une d'entre elles peut être plane).



C_1, C_2 : centres de courbure

R_1, R_2 : rayons de courbure

Δ : **axe optique**

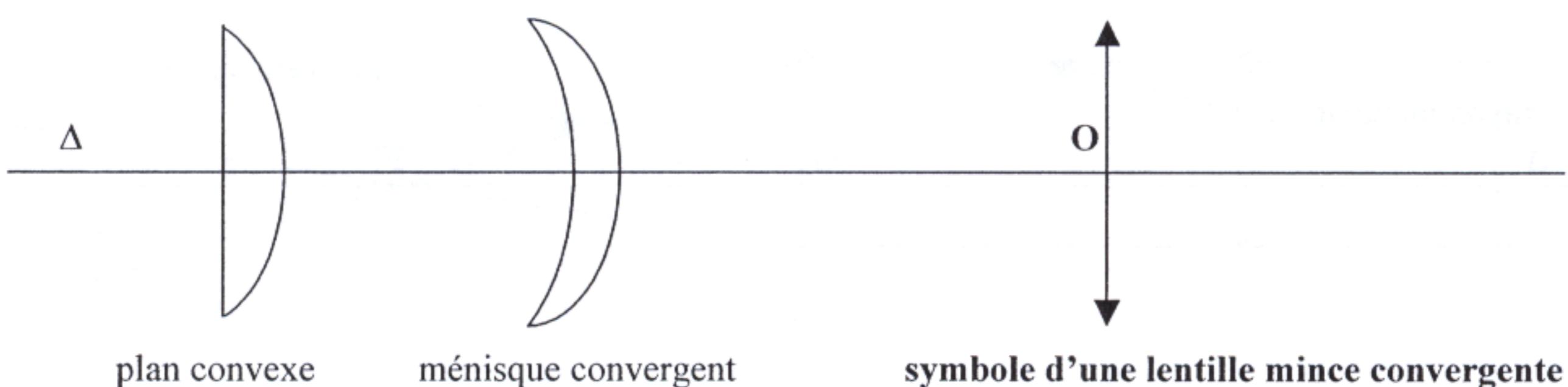
e : épaisseur de la lentille

D : diamètre de la lentille

- Une lentille est considérée comme **mince** si e est petit devant R_1 et R_2 ; S_1 et S_2 sont alors considérés comme confondus en un seul point **O** nommé **centre optique**.
- Une lentille est convergente si elle a des bords minces (c'est le cas de celle représentée ci-dessus qui est biconvexe).

Remarque : dans le cas de bords épais, la lentille est divergente.

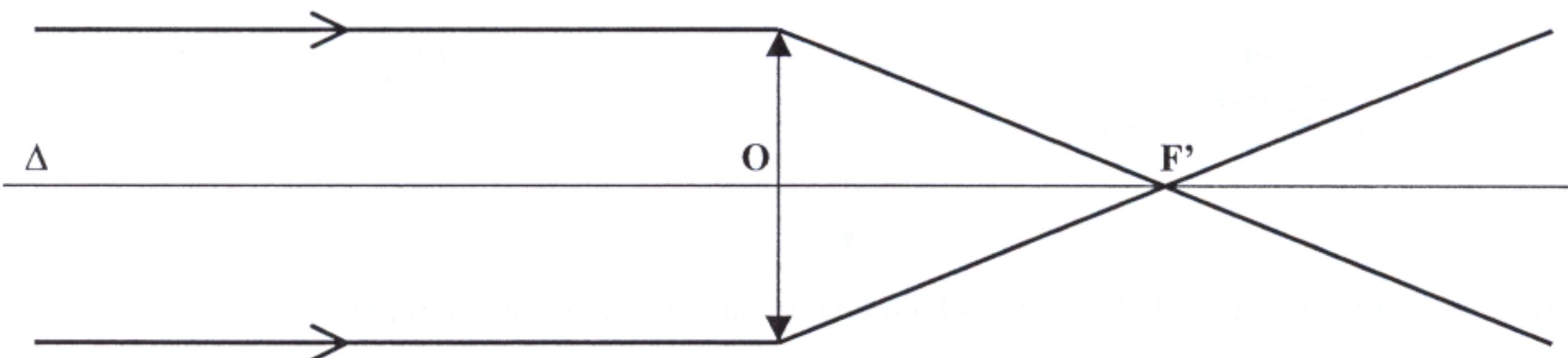
1-2- Les autres types de lentilles convergentes



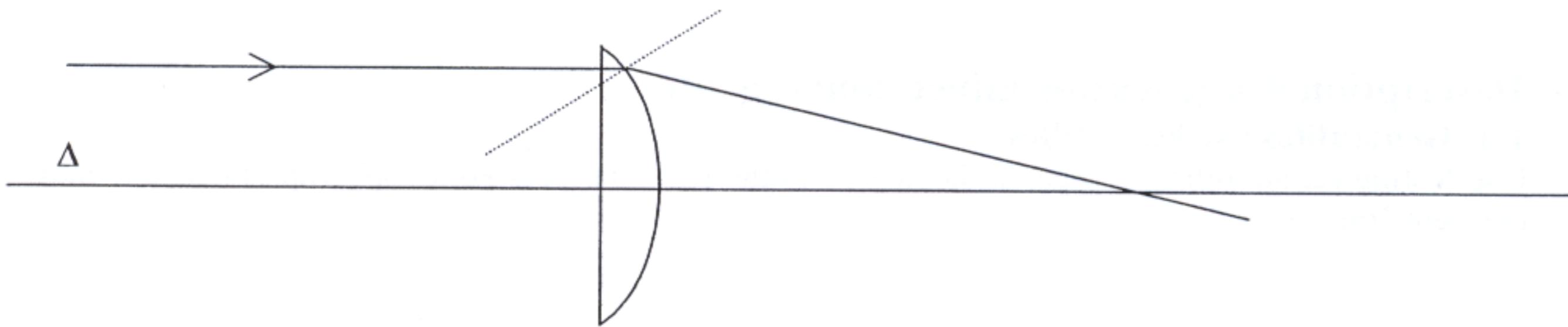
Remarque : une lentille divergente peut être biconcave, plan concave et ménisque divergent.

1-3- Propriété essentielle d'une lentille convergente

- Elle transforme un faisceau parallèle en faisceau convergent.



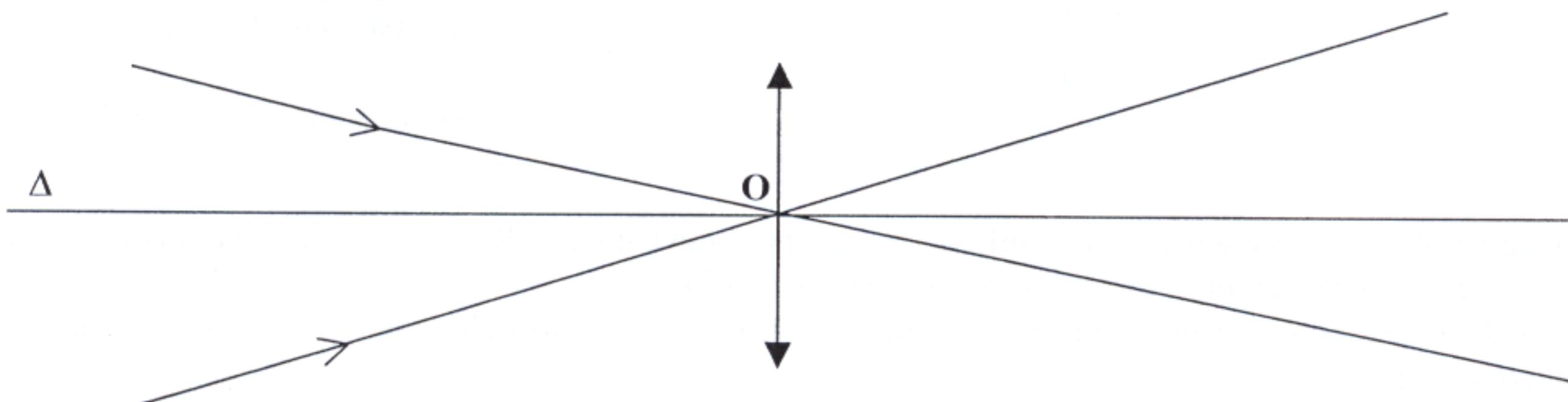
- F' est le foyer image (c'est le point image d'un point objet situé à l'infini sur l'axe optique).
- OF' est nommé distance focale de la lentille convergente.
- Cette transformation est due à la réfraction.



Remarque : une lentille divergente transforme un faisceau parallèle en un faisceau divergent.

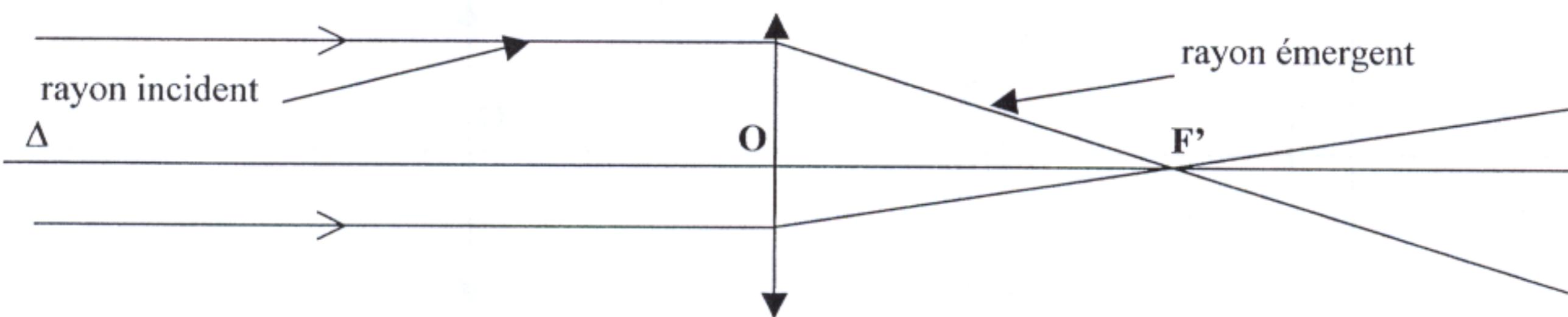
2- Les 3 points essentiels d'une lentille mince convergente

2-1- Le centre optique O



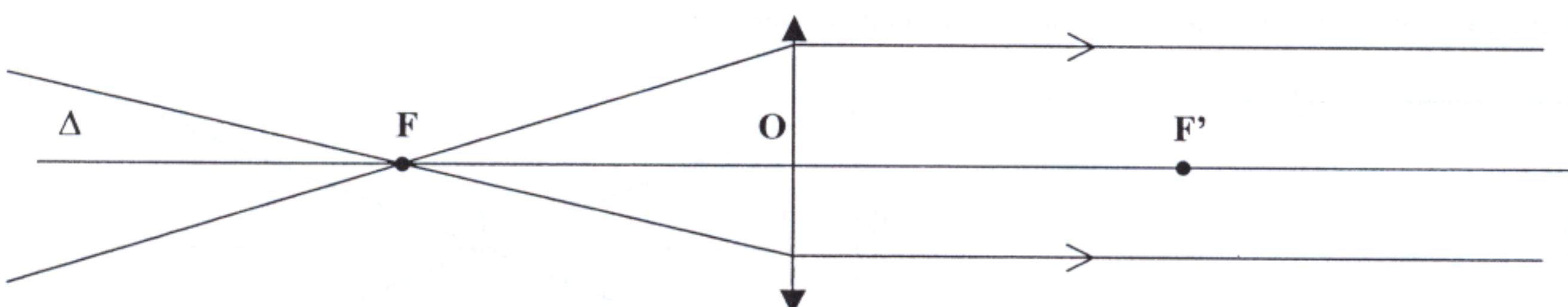
Tout rayon passant par le centre optique O traverse la lentille sans être dévié.

2-2- Le foyer image F'



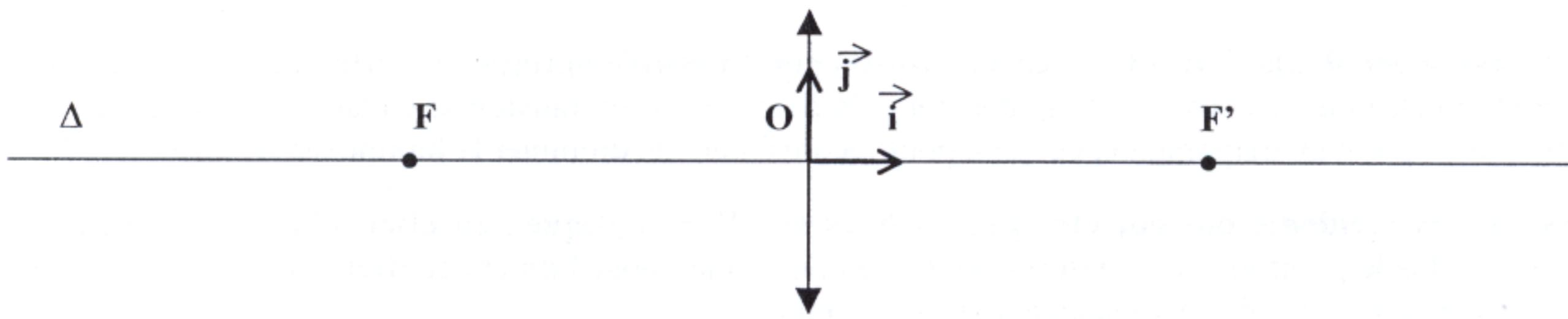
Tout rayon incident parallèle à l'axe optique Δ émerge en passant par le foyer image.

2-3- Le foyer objet F ($OF = OF'$)



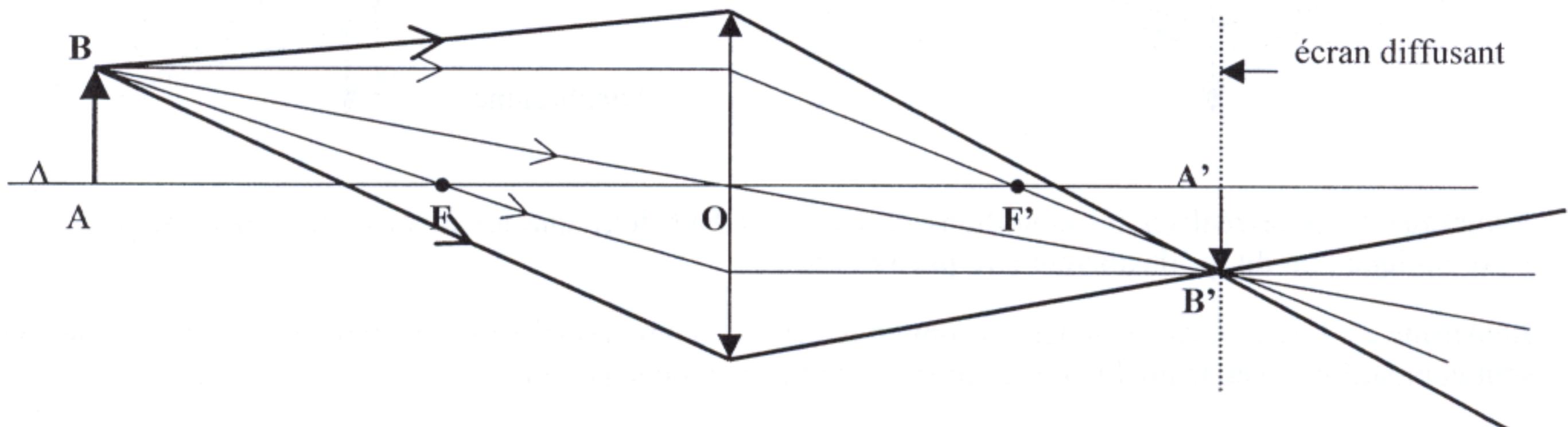
Tout rayon incident passant par le foyer objet F émerge parallèlement à l'axe optique.

2-4- Orientation de l'espace



3- Image d'un objet plan perpendiculaire à l'axe optique situé avant F

3-1- Construction de l'image



- Le point image B' sera visible en plaçant l'œil en arrière de B' dans le faisceau émergent.
- Un écran diffusant permet de recueillir B' ; l'observation pourra se réaliser à gauche si sa surface est opaque non polie et des 2 côtés si sa surface est translucide.

3-2- Relation de conjugaison (1^{ère} relation de Descartes)

$$\frac{1}{OF'} = \frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} \quad \text{avec} \quad OF' > 0, \quad OA' > 0, \quad OA < 0$$

Remarque : OF' est nommé la distance focale et est souvent noté f'

3-3- Relation de grandissement (2^{ème} relation de Descartes)

$$\gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{OA'}{OA}$$

$$A'B' < 0 \quad \text{et} \quad AB > 0 \rightarrow \gamma < 0$$

Remarque : pour trouver cette relation, il suffit d'appliquer le théorème de Thalès dans les triangles OAB et $OA'B'$.

3-4- Vergence C

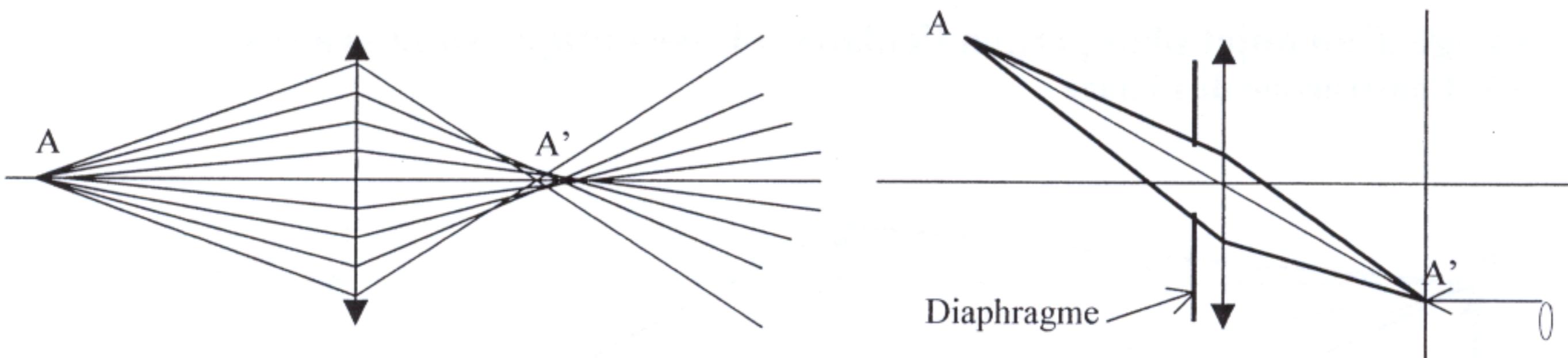
- Une lentille est d'autant plus convergente que sa distance focale est plus courte.
- Une lentille est donc définie par l'inverse de sa distance focale appelée vergence.

$$C = \frac{1}{OF'} \quad OF' \text{ en m} \rightarrow C \text{ en } \delta \text{ (dioptrie)}$$

3-5- Conditions de Gauss

Les relations de Descartes et la construction indiquée ne sont valables que dans les conditions de Gauss.

- **Les rayons incidents doivent rester aux voisinages du centre optique** ; en effet, plus les rayons en sont éloignés, plus ils convergent rapidement et le point image se transforme en tache ; pour limiter cet effet, on emploie un diaphragme, ce qui a pour inconvénient de diminuer la luminosité de l'image.
- **Les rayons incidents doivent être peu inclinés sur l'axe optique** ; en effet, plus les rayons sont inclinés, plus le point image se déforme en tache comatique ; pour limiter cet effet, on utilise des objets de faible étendue, placés au voisinage de l'axe optique.



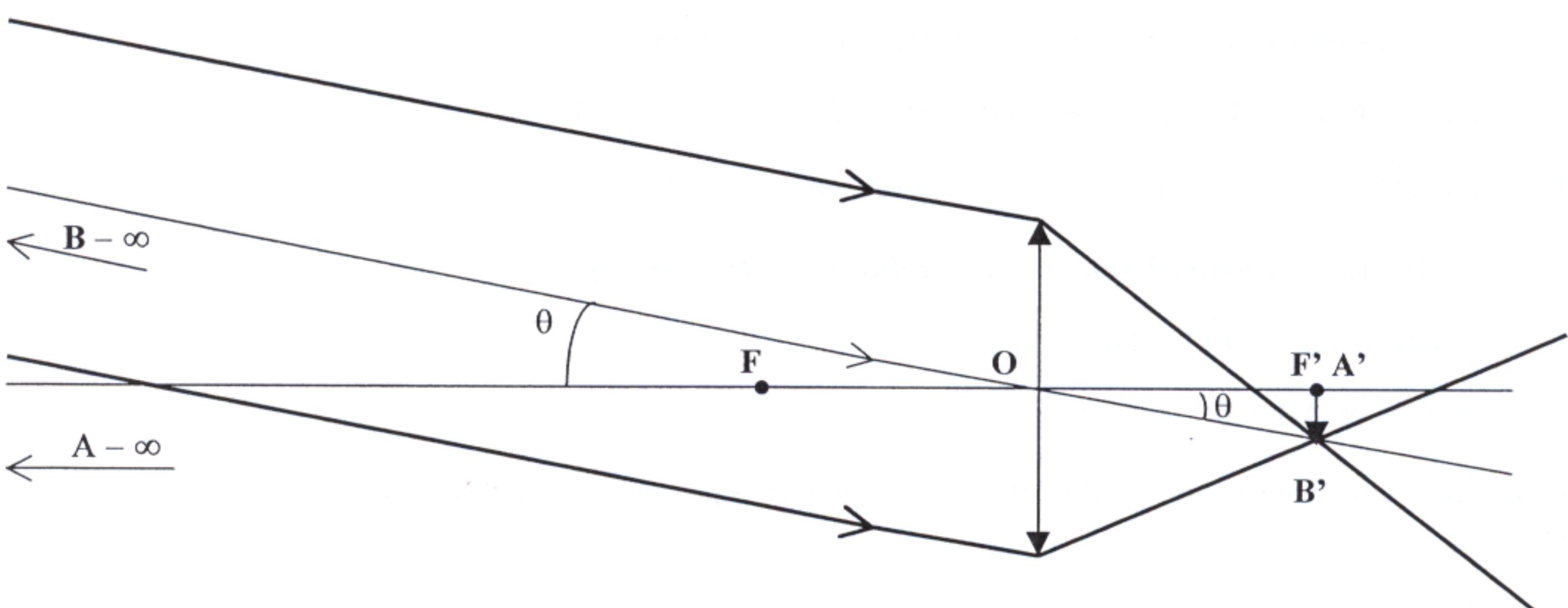
Remarque 1 : pour réaliser les conditions de Gauss, il faut donc que les rayons soient peu inclinés avec l'axe optique ; on dit qu'ils doivent être **paraxiaux**.

Remarque 2 : Les conditions de Gauss sont considérées comme remplies si les qualités de l'image obtenue sont compatibles avec la qualité du récepteur (pixels, grain de la pellicule, ...).

4- Autres positions d'objet avant le centre optique

Les relations de Descartes sont valables quelle que soit la position de l'objet.

4-1- Objet situé à $-\infty$

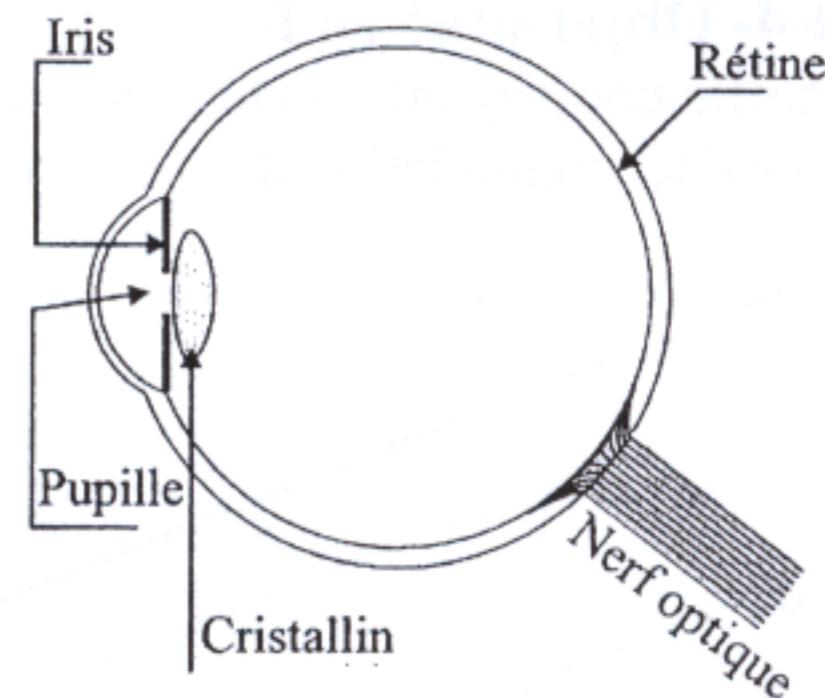


Ici, la distance OA' est fixe quelles que soient la distance et la dimension de l'objet ; la grandeur de l'image est donc proportionnelle à l'angle θ , appelé le diamètre apparent de l'objet AB .

4-2- L'œil

- **Constitution simplifiée**

- L'iris est un diaphragme dont l'ouverture est la pupille.
- Le cristallin est une lentille biconvexe faite d'un corps transparent dont l'épaisseur, donc la vergence, peut être accentuée par des muscles appelés muscles ciliaires.
- La rétine est un écran constitué de cellules photosensibles en relation avec le nerf optique.



- **L'accommodation**

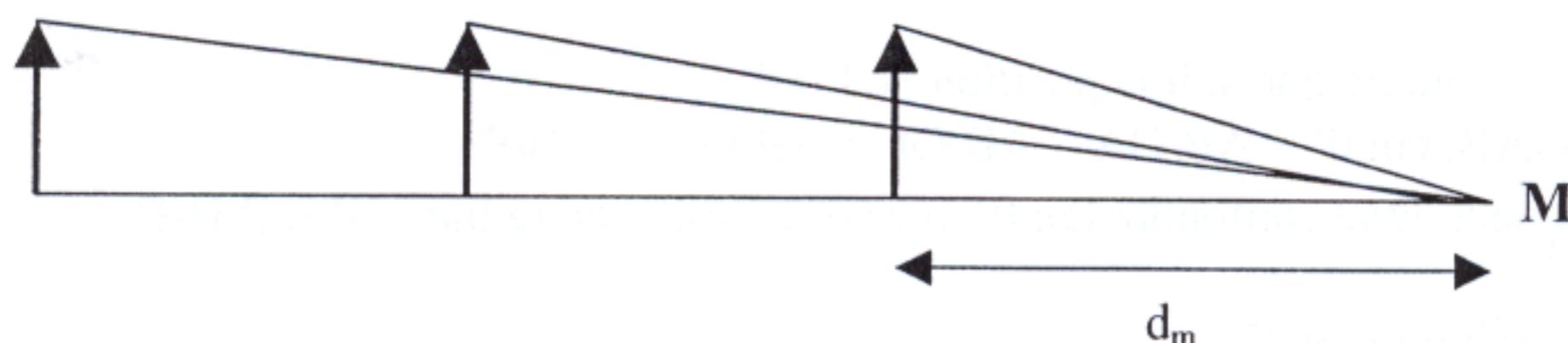
- Un œil normal, dont les muscles ciliaires ne travaillent pas, forme des images d'objets à l'infini.
- Pour former des images d'objets proches, les muscles travaillent ; on dit que l'œil accorde.
- L'accommodation atteint sa limite pour une distance de l'objet appelée la distance minimale de vision distincte notée d_m ; d_m vaut 10 cm vers 10 ans, 15 cm vers 30 ans, 25 cm vers 40 ans,

- **Le diamètre apparent d'un objet**

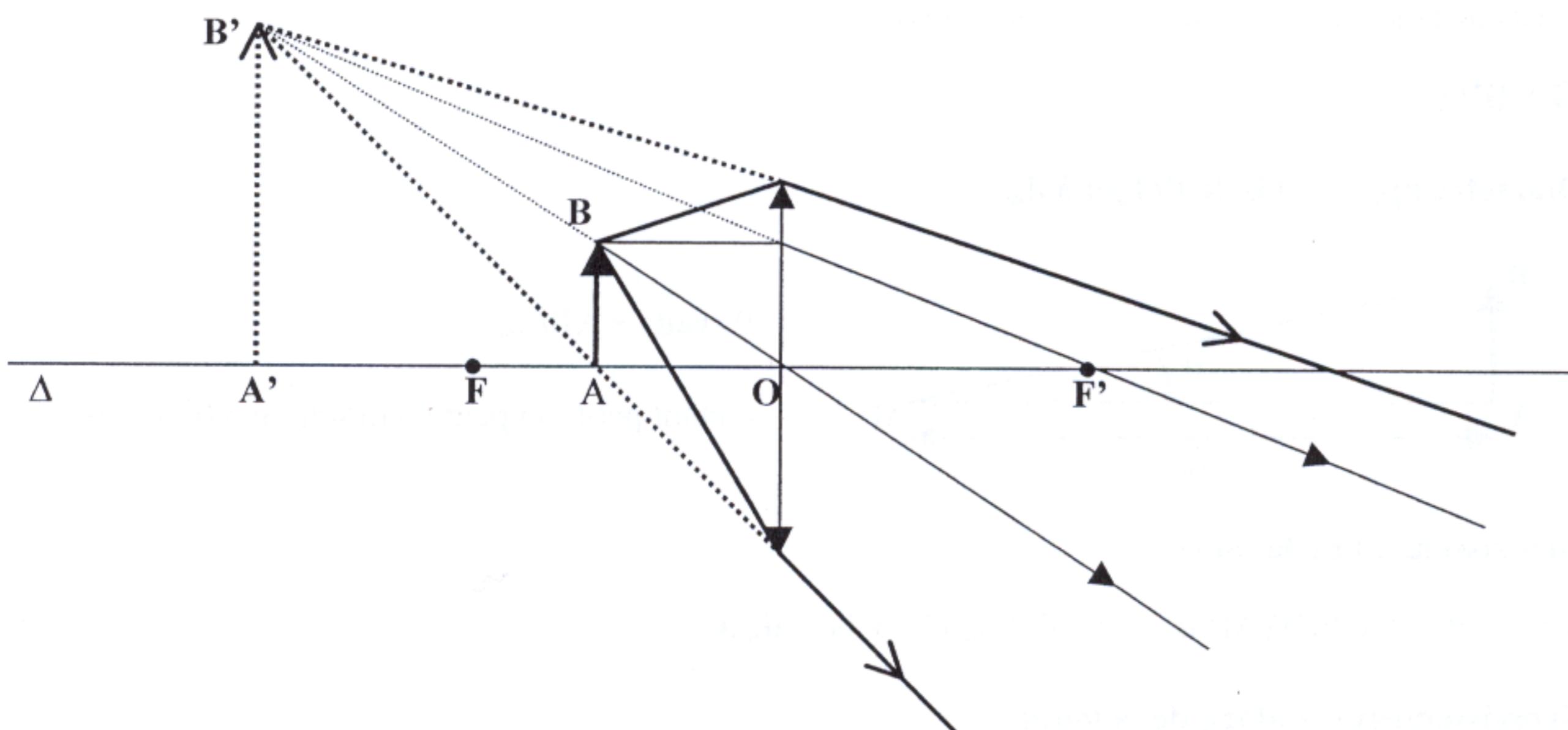
- La distance de l'ensemble pupille-cristallin à la rétine est fixe quelle que soit la distance de l'objet ; la grandeur de l'image sur la rétine est donc constamment proportionnelle au diamètre apparent de l'objet ; la vision des « choses » est liée, non pas à leur dimension, mais à leur diamètre apparent.



- Pour observer un objet avec le plus de détails possibles, on le place au plus près de l'œil, c'est-à-dire à sa distance minimale de vision distincte ; ainsi son diamètre apparent est maximal.



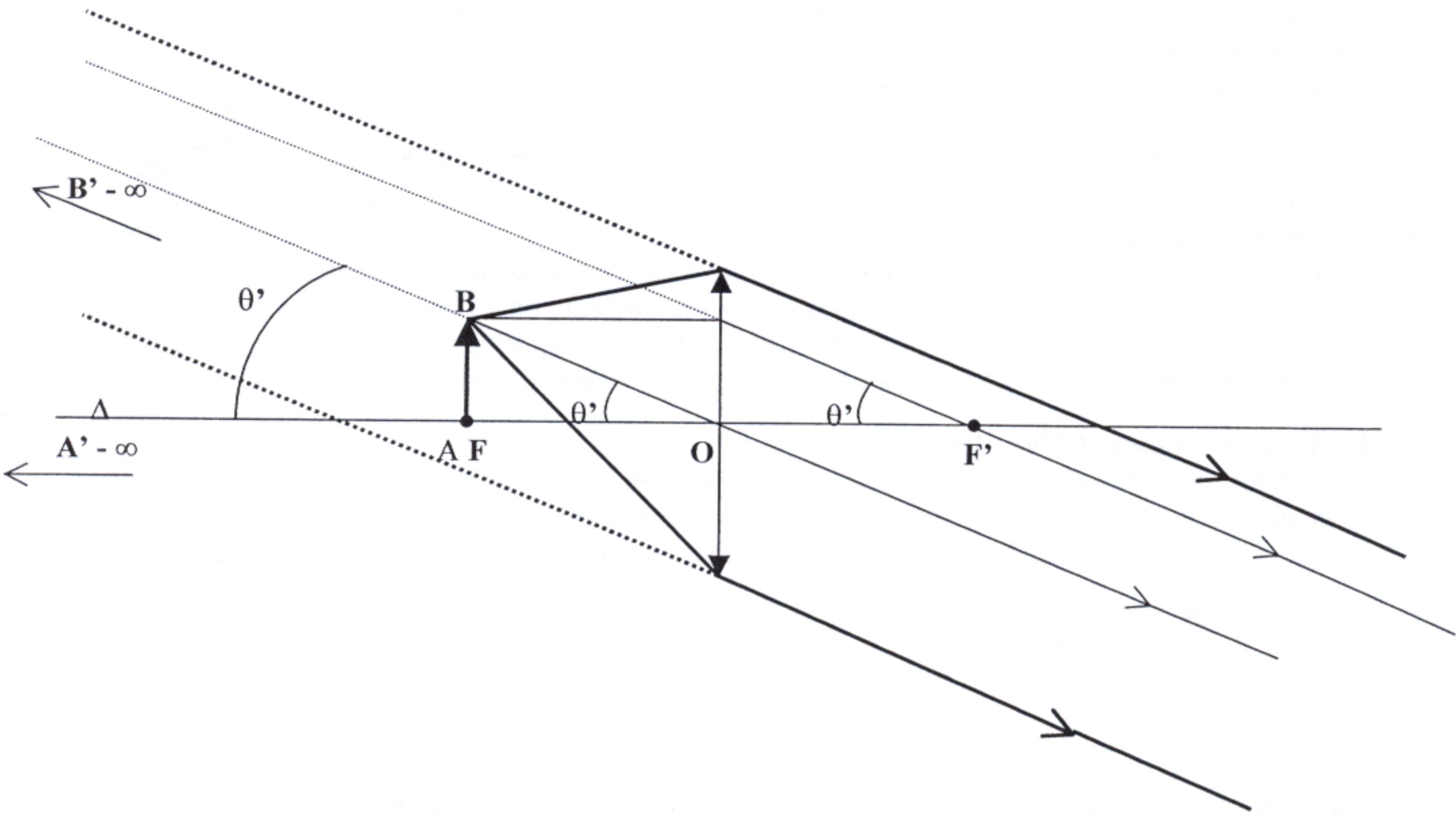
4-3- Objet situé entre F et O



- Le point image B' sera visible en plaçant l'œil dans le faisceau émergent.
- La lentille convergente est ici une loupe.

4-4- Objet situé en F

La lentille convergente restera une loupe ; la situation présentera l'avantage, par rapport à la précédente, d'éviter l'accommodation d'un œil normal.



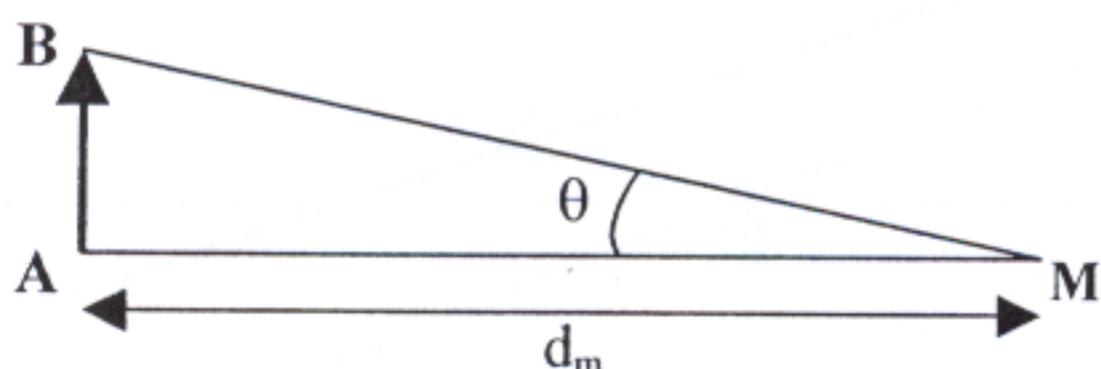
- θ' est le diamètre apparent de l'image ; cette image peut être observée par un œil placé dans le faisceau émergent.
- θ' a la même valeur, quelle que soit la position de l'œil.
- Dans le triangle OAB, $\tan \theta' = AB/OA = AB/OF = AB/OF' = AB/f'$
- θ' étant petit ; on peut donc confondre $\tan \theta'$ avec θ' exprimé en radian $\theta' \approx AB/f'$

- **Définition du grossissement G**

C'est le rapport du diamètre apparent θ' de l'image au diamètre apparent θ de l'objet, observé à l'œil nu et placé à sa distance minimale de vision distincte d_m .

$$G = \theta'/\theta$$

- **Diamètre apparent θ de l'objet à d_m**



$$\theta \text{ (rad)} \approx AB/d_m$$

θ étant petit, on peut confondre $\tan \theta$ avec θ

- **Grossissement de la loupe**

$$G = \theta'/\theta = (AB/f')/(AB/d_m) = d_m/f' = d_m \cdot C \rightarrow G = d_m \cdot C$$

- **Grossissement standard de la loupe**

On choisit conventionnellement l'œil normal d'environ 40 ans, $d_m = 25$ cm

$$G = 0,25 C \rightarrow G = C/4$$

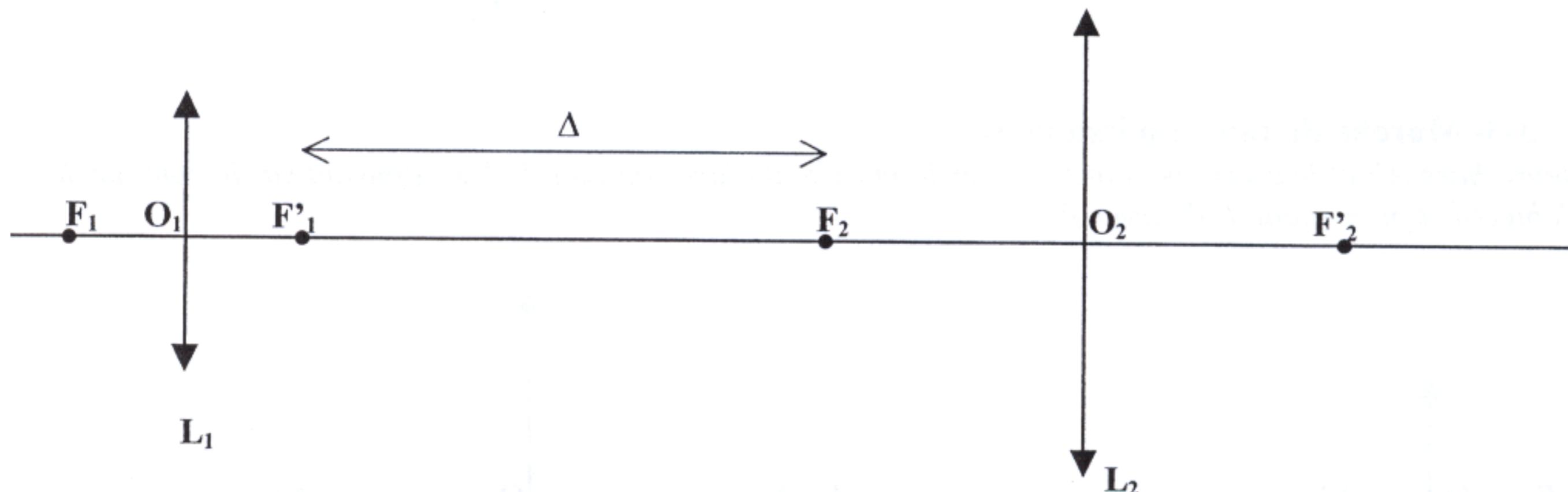
LE MICROSCOPE

1- Description

Document 2 page 18 du manuel

- Le microscope comprend deux systèmes optiques convergents nommés l'objectif et l'oculaire, de même axe optique, maintenus à une distance invariable l'un de l'autre par fixation aux extrémités d'un tube.
- L'objet translucide est éclairé en concentrant la lumière du jour ou celle d'une lampe au moyen d'un miroir concave orientable associé souvent à un condenseur.

2- Modélisation



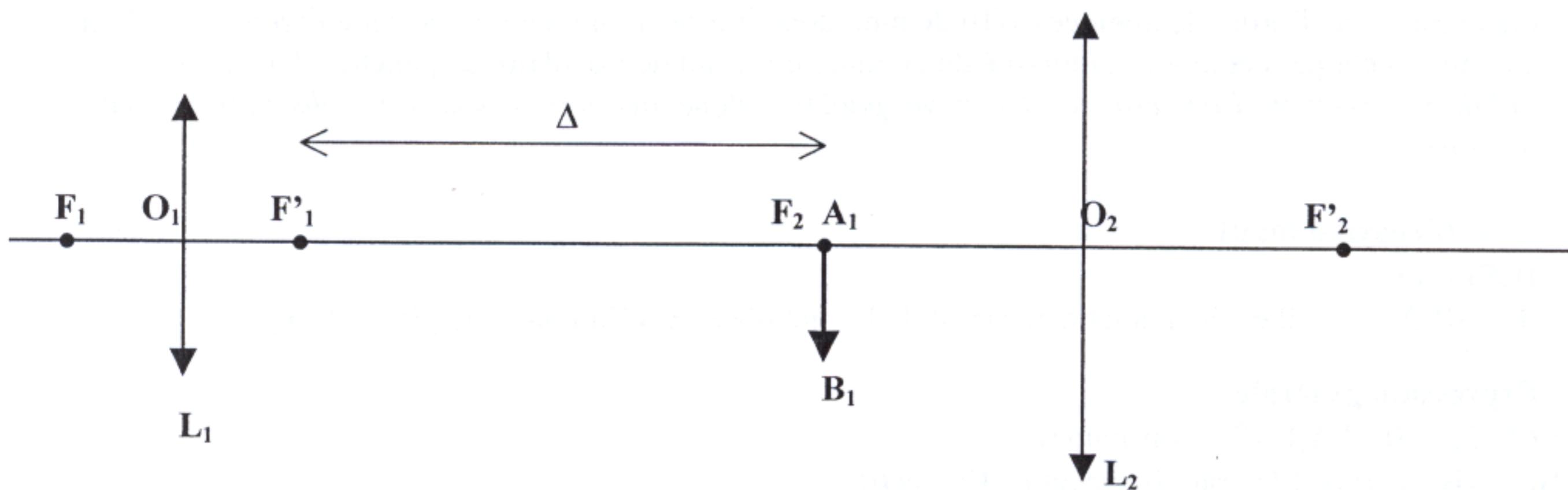
- L'objectif, assimilé à une lentille notée L_1 , de distance focale f'_1 de l'ordre du mm, donne, d'un objet AB , une image A_1B_1 (dite intermédiaire) très agrandie et renversée (A_1B_1 est dans le tube).
Réaliser l'expérience du document 3 page 19 du manuel pour observer l'image A_1B_1 .
- L'oculaire, assimilé à une lentille notée L_2 , de distance focale f'_2 de l'ordre du cm, utilisée comme une loupe, donne de A_1B_1 (qui servait d'objet) une image $A'B'$ (dite définitive) visible par l'œillet.
- Δ est nommé l'intervalle optique, il est généralement compris entre 15 cm et 18 cm.

3- Cas de la vision de l'image à l'infini

Pour un œil normal, il est souhaitable que $A'B'$ soit à l'infini.

3-1- Construction des images successives

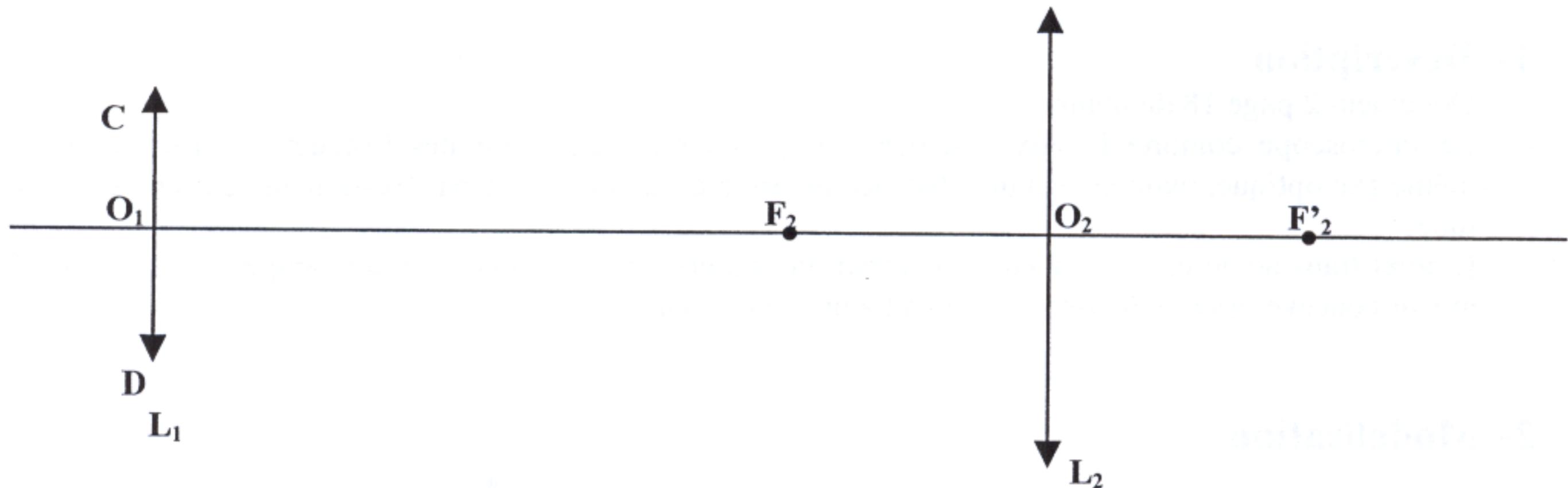
Construire AB , puis $A'B'$; indiquer le diamètre apparent θ' de $A'B'$.



3-2- Cercle oculaire

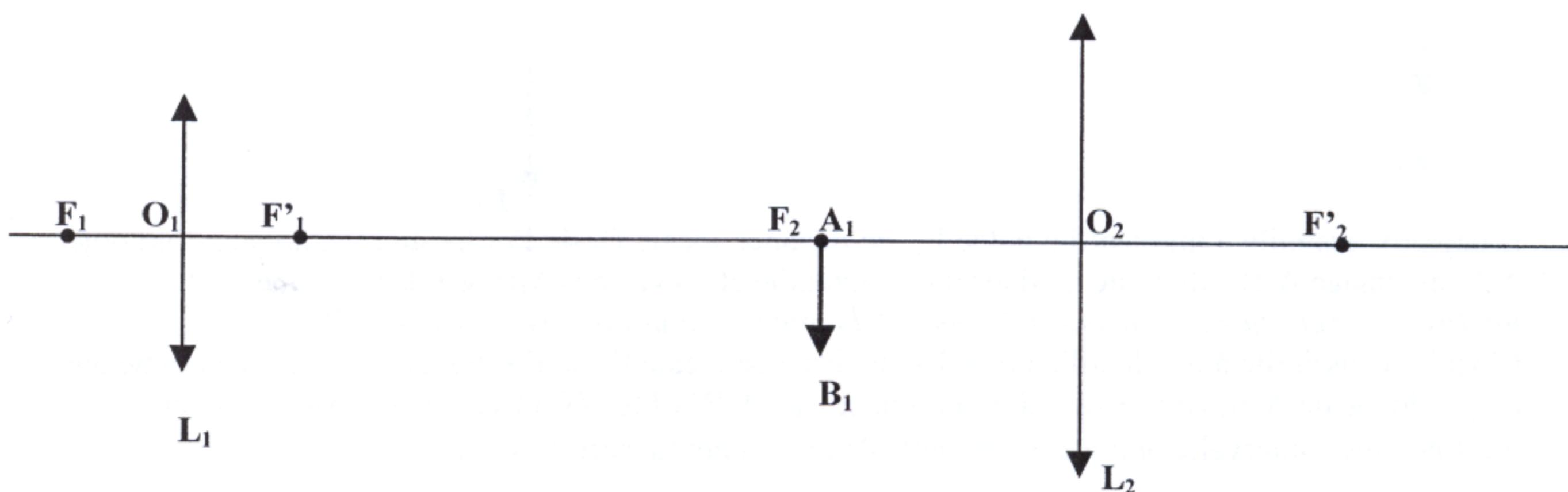
Le cercle oculaire est l'image de l'objectif par l'oculaire ; c'est l'endroit où tous les faisceaux incidents de l'objectif, après avoir émergé de l'oculaire, se croisent.

Construire le cercle oculaire en réalisant les images de C et de D.



3-3- Marche du faisceau issu de B

Reproduire AB et le cercle oculaire ; tracer la marche du faisceau issu de B s'appuyant sur le contour de l'objectif et permettant d'observer B'.



- Lorsqu'un œil observe l'image par l'œilleton, le cercle oculaire est alors au niveau de la pupille ; son diamètre est de l'ordre de quelques 1/10 de mm, donc inférieur au diamètre de cette dernière (de 2 mm à 8 mm) ; cela permet alors à la totalité de la lumière sortant de l'oculaire de pénétrer dans l'œil.
- *Eclairer fortement l'objectif et placer un papier calque derrière l'oculaire ; observer le cercle oculaire.*

3-4- Grossissement

- **Définition**

$$G = \theta'/\theta \quad \theta \text{ est le diamètre apparent de l'objet observé à l'œil nu à } d_m ; \theta = AB/d_m$$

- **Expression générale**

$$\theta = AB/d_m ; \theta' = A_1B_1/f'_2 \text{ (voir loupe)}$$

$$A_1B_1 = AB|\gamma_1| \quad (\gamma_1 \text{ est le grossissement de l'objectif})$$

$$G_2 = d_m \cdot C_2 \quad (G_2 \text{ est le grossissement de l'oculaire - voir loupe})$$

$$G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{A_1B_1/f'_2}{AB/d_m} = \frac{AB|\gamma_1|/f'_2}{AB/d_m} = \frac{|\gamma_1| \cdot d_m}{f'_2} = |\gamma_1| \cdot G_2 \rightarrow \boxed{G = |\gamma_1| \cdot G_2}$$

Le grossissement d'un microscope est le produit de la valeur absolue du grandissement de l'objectif par le grossissement de l'oculaire.

• Expression à partir des grandeurs caractéristiques

$$G_2 = d_m \cdot C_2$$

$$|\gamma_1| = A_1 B_1 / AB = \Delta / O_1 F'_1 \text{ (homothétie de centre } F'_1 \text{, visible sur la construction page 9)} \rightarrow |\gamma_1| = \Delta / f'_1 = \Delta \cdot C_1$$

$$G = |\gamma_1| \cdot G_2 \rightarrow \boxed{G = (\Delta \cdot C_1) \cdot (d_m \cdot C_2)}$$

• Grossissement standard

$$d_m = 0,25 \text{ m} = \frac{1}{4} \text{ m} \rightarrow \boxed{G = (\Delta \cdot C_1) \cdot (C_2/4)}$$

L'indication gravée sur l'objectif est la valeur absolue de son grandissement (exemple : 4 ×) ; c'est le produit de l'intervalle optique par la vergence de l'objectif.

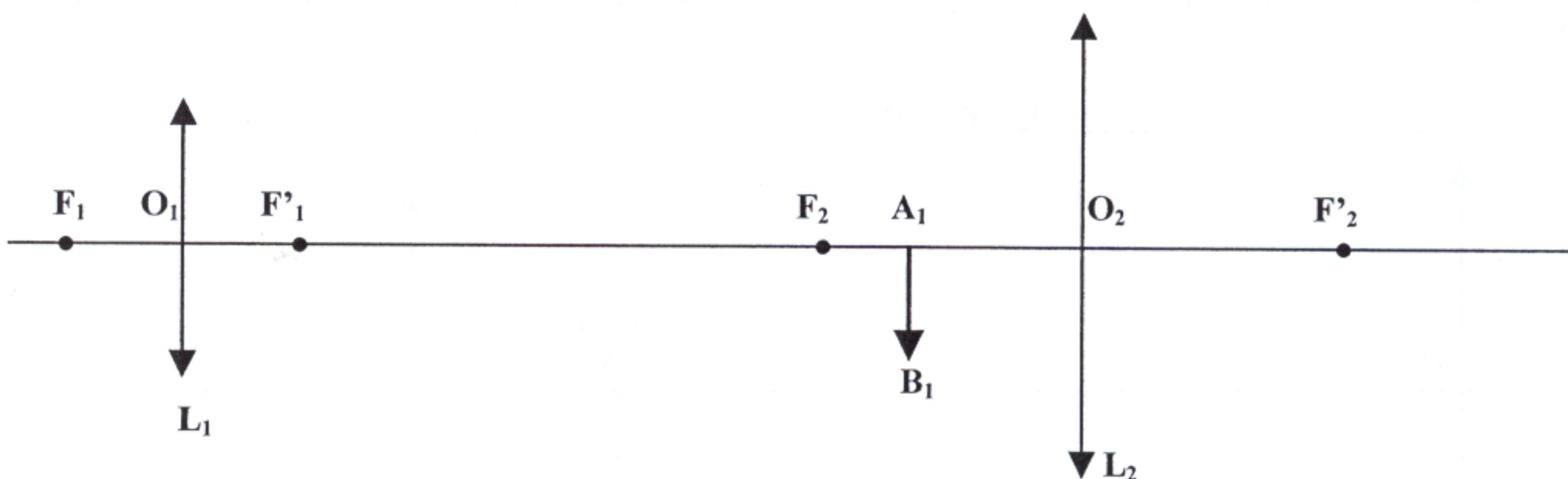
L'indication gravée sur l'oculaire est son grossissement standard (exemple : 10 ×) ; c'est le quart de sa vergence.

Le grossissement standard du microscope s'obtient en réalisant le produit des 2 nombres (exemple : 4 × 10 = 40).

4- Mise au point pour un œil normal

4-1- Cas de la vision de l'image à d_m

Indiquer la position M du cercle oculaire et de la pupille de l'œil sur l'axe optique ; construire $A'B'$ et indiquer d_m ; construire AB et constater qu'il est un peu plus proche de L_1 que dans la situation précédente.



4-2- Latitude de mise au point

L'œil observe l'image définitive $A'B'$ si la distance qui l'en sépare est comprise entre d_m et l'infini.

Les positions extrêmes correspondantes de l'objet AB délimitent la latitude de mise au point.

La latitude de mise au point est de quelques μm ; ceci impose deux impératifs :

- l'objet doit être plan placé perpendiculairement à l'axe optique et d'épaisseur réduite (ce qui permet également un meilleur éclairage par transmission).
- il faut nécessairement une vis micrométrique pour faire la mise au point.

4-3- Réglage du microscope pour une vision de l'image à l'infini

Il est recommandé d'amener d'abord, avec grande précaution, la face antérieure de l'objectif au contact de la lamelle couvre-objet, puis de l'en éloigner très progressivement à l'aide du bouton de la crémaillère : l'image apparaît lorsqu'elle passe à la distance d_m de l'œil ; en continuant d'éloigner très lentement à l'aide de la vis micrométrique, on recherche la limite au-delà de laquelle l'image n'est plus visible : l'image est alors à l'infini et ainsi l'œil n'accorde pas.

LA LUNETTE ASTRONOMIQUE

1- Description

Documents 1 et 3 page 30 du manuel

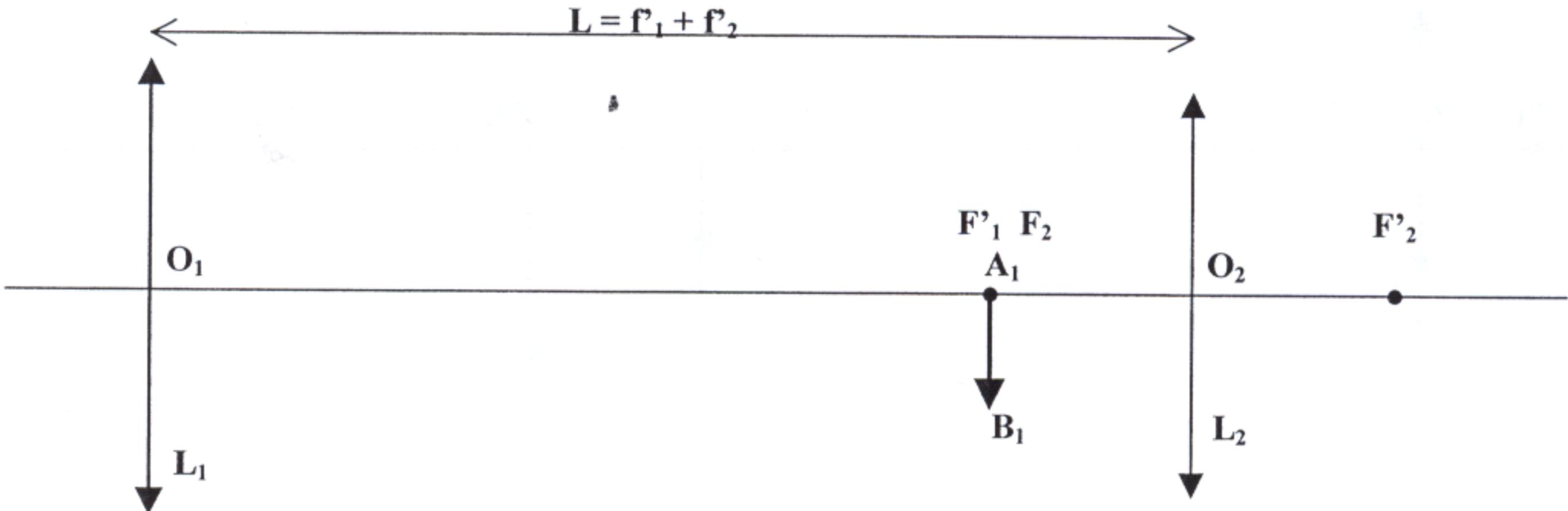
- Cette lunette, destinée à l'observation des astres, se présente sous forme de deux tubes emboîtés l'un dans l'autre, possédant chacun, à leur extrémité, un système optique convergent de même axe optique, l'objectif et l'oculaire.
- L'objectif, assimilé à une lentille notée L_1 , de grand diamètre (pour recueillir beaucoup de lumière), a une grande distance focale f'_1 (1 à 20 m) pour que l'image A_1B_1 renversée de l'astre AB , située à son foyer image soit grande.
- L'oculaire, assimilé à une lentille notée L_2 , de diamètre plus petit, utilisée comme une loupe, a une petite distance focale f'_2 (quelques cm, donc fort grossissement) pour que l'image définitive $A'B'$ soit vue sous un diamètre apparent important.
- La mise au point se réalise en déplaçant l'oculaire par rapport à l'objectif.

2- Cas de la vision de l'image définitive à l'infini

La lunette astronomique est alors dite afocale.

2-1- Construction des images successives

Construire AB en indiquant son diamètre apparent θ ; faire de même pour $A'B'$ (indiquer θ' en F'_2 et en O_2).



A_1B_1 est bien d'autant plus grand que $O_1F'_1$ est plus long puisque $A_1B_1 = O_1F'_1 \cdot \tan \theta \approx O_1F'_1 \cdot \theta = f'_1 \cdot \theta$

2-2- Grossissement

θ est le diamètre apparent de l'astre AB pour l'objectif, mais c'est aussi celui pour l'œil puisqu'il est hors de question de mettre l'astre à la distance minimale de vision distincte de l'œil.

$$G = \theta'/\theta$$

$$\theta = A_1B_1/f'_1$$

$$\theta' = A_1B_1/f'_2 \text{ (voir loupe)}$$

$$G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{A_1B_1/f'_2}{A_1B_1/f'_1} = \frac{f'_1}{f'_2} \rightarrow G = \frac{C_2}{C_1}$$

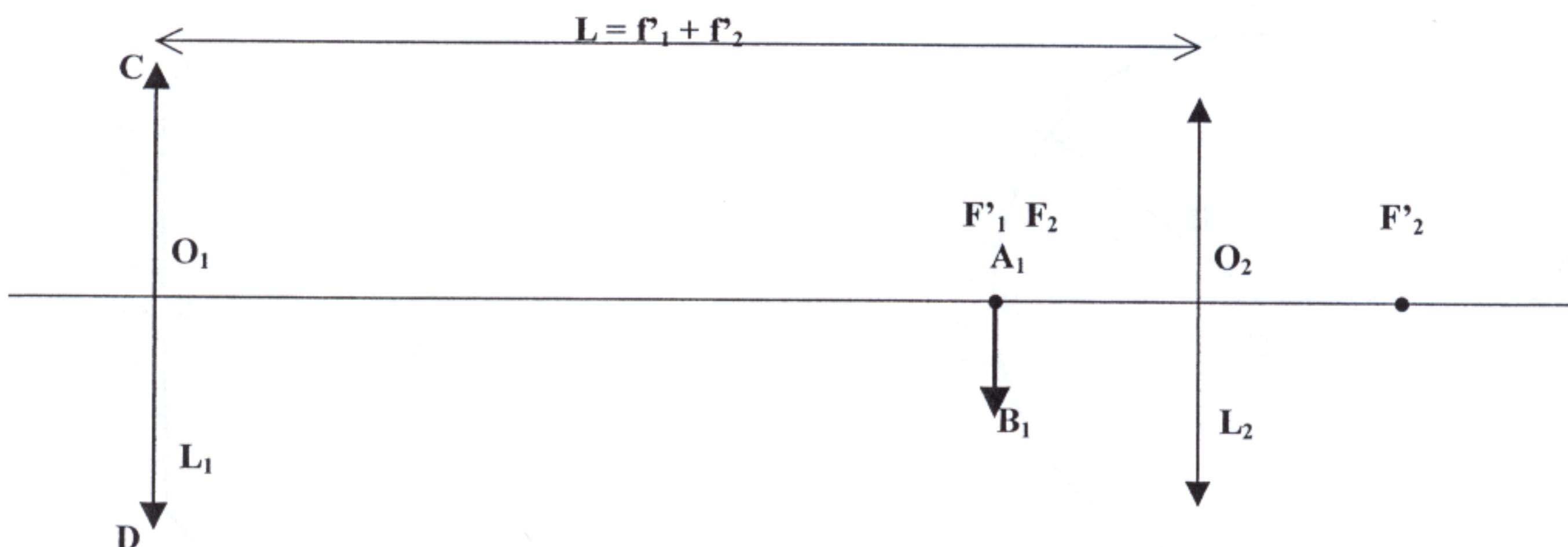
- Le résultat confirme que la lunette astronomique doit posséder un objectif à grande distance focale et un oculaire à petite distance focale.

- Dans le commerce, on caractérise une lunette astronomique par 2 nombres (400×70 par exemple) ; le premier nombre (400) désigne le grossissement de la lunette afocale (il peut atteindre 3000), le second (70) indique le diamètre de l'objectif en millimètres.

2-3- Le cercle oculaire

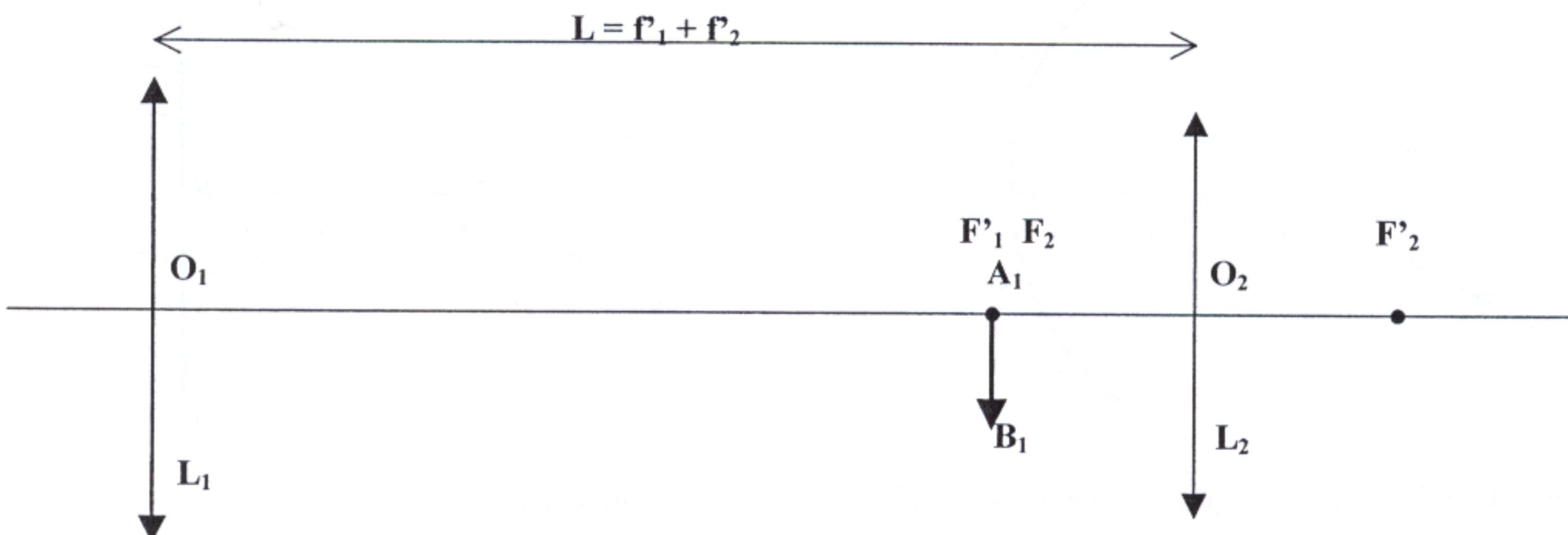
Construire le cercle oculaire.

La distance focale de l'oculaire étant beaucoup plus courte que la distance objectif oculaire, le cercle oculaire est très peu en arrière du foyer image de l'oculaire.



2-4- Marche du faisceau issu de B

Reproduire le cercle oculaire ; tracer la marche du faisceau issu de B s'appuyant sur le contour de l'objectif et permettant d'observer B'.



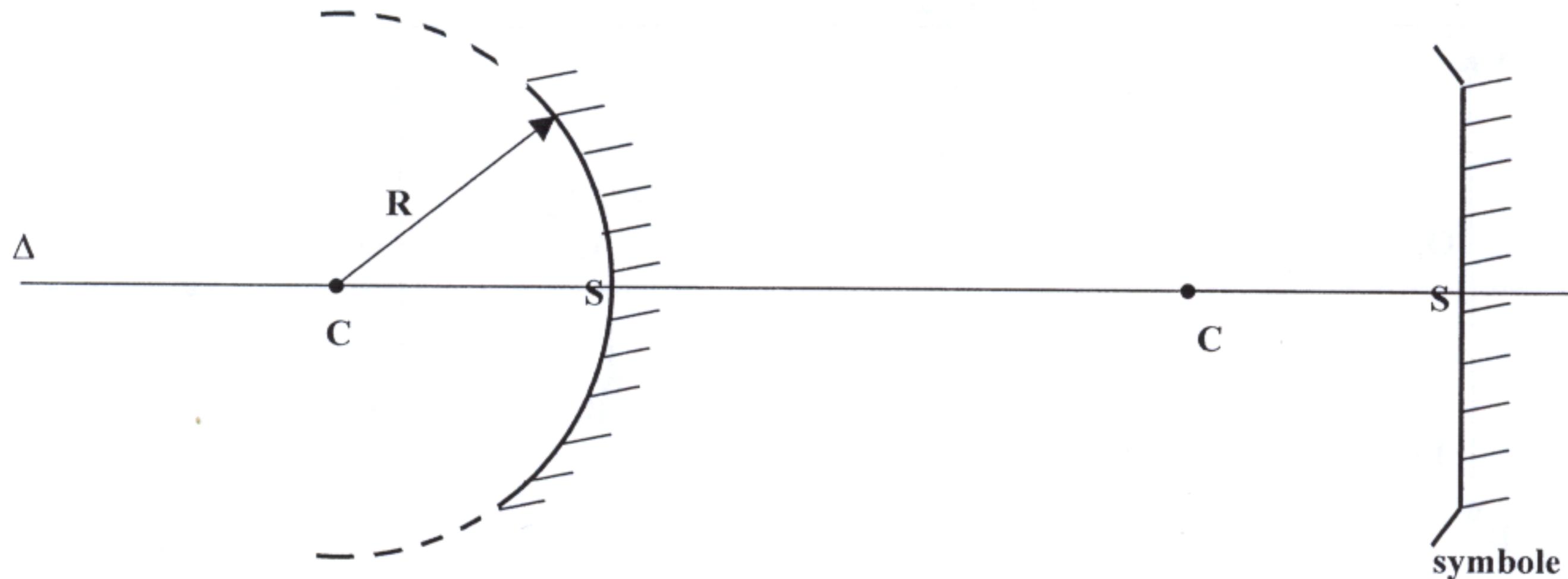
3- Mise au point pour un œil normal

- On approche l'oculaire au plus près de l'objectif ; A₁B₁ est alors en arrière de F₂ et A'B' est donc de ce fait très proche de l'œil, soit au-dessous de sa distance minimale de vision distincte.
- On éloigne alors progressivement l'oculaire (A₁B₁ s'approche de F₂) ; lorsque l'image A'B' devient visible, elle est alors à la distance minimale de vision distincte de l'œil.
- Lorsque A₁B₁ se trouve en F₂, A'B' se trouve à l'infini et l'œil peut ainsi observer sans accommoder.
- Pour se placer exactement dans cette position, il suffit, comme pour le microscope de chercher la limite au-delà de laquelle A'B' n'est plus visible.

**IMAGES DONNEES PAR UN
MIROIR SPHERIQUE CONVERGENT**

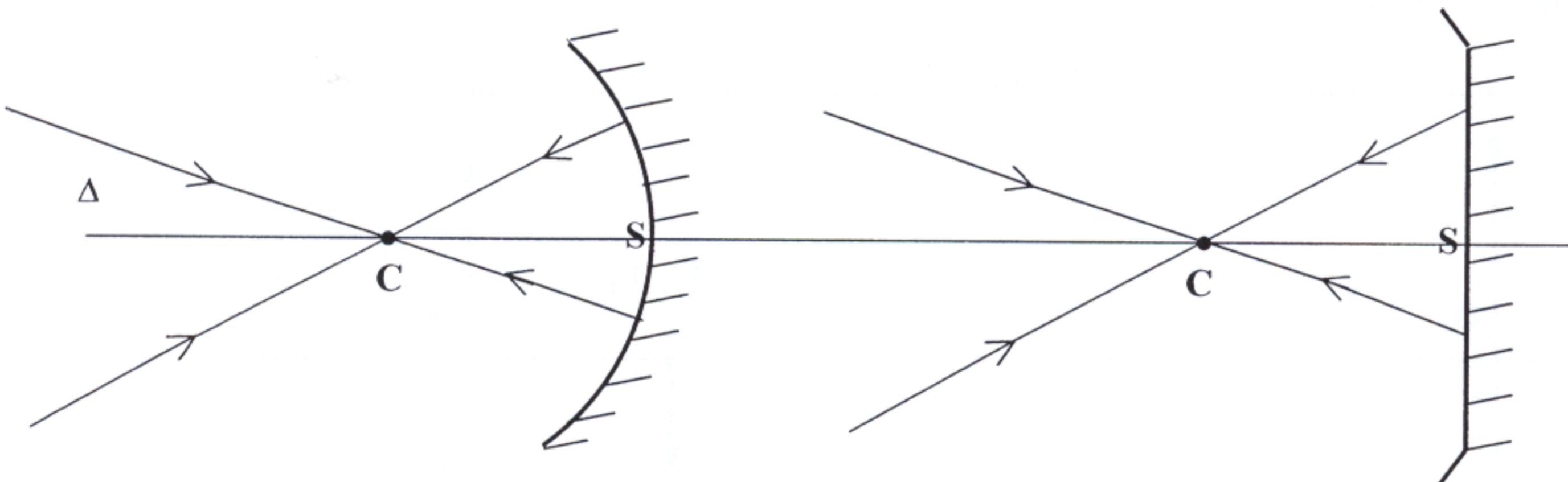
1- Description d'un miroir sphérique convergent

- Un miroir, contrairement à une lentille, ne met pas en jeu, la réfraction mais la réflexion.
- Un miroir sphérique convergent est une portion de sphère réfléchissante concave (S est son sommet).



2- Les 2 points essentiels d'un miroir sphérique convergent

2-1- Le centre C



Tout rayon incident passant par le centre C est réfléchi en passant également par C.

2-2- Le foyer F

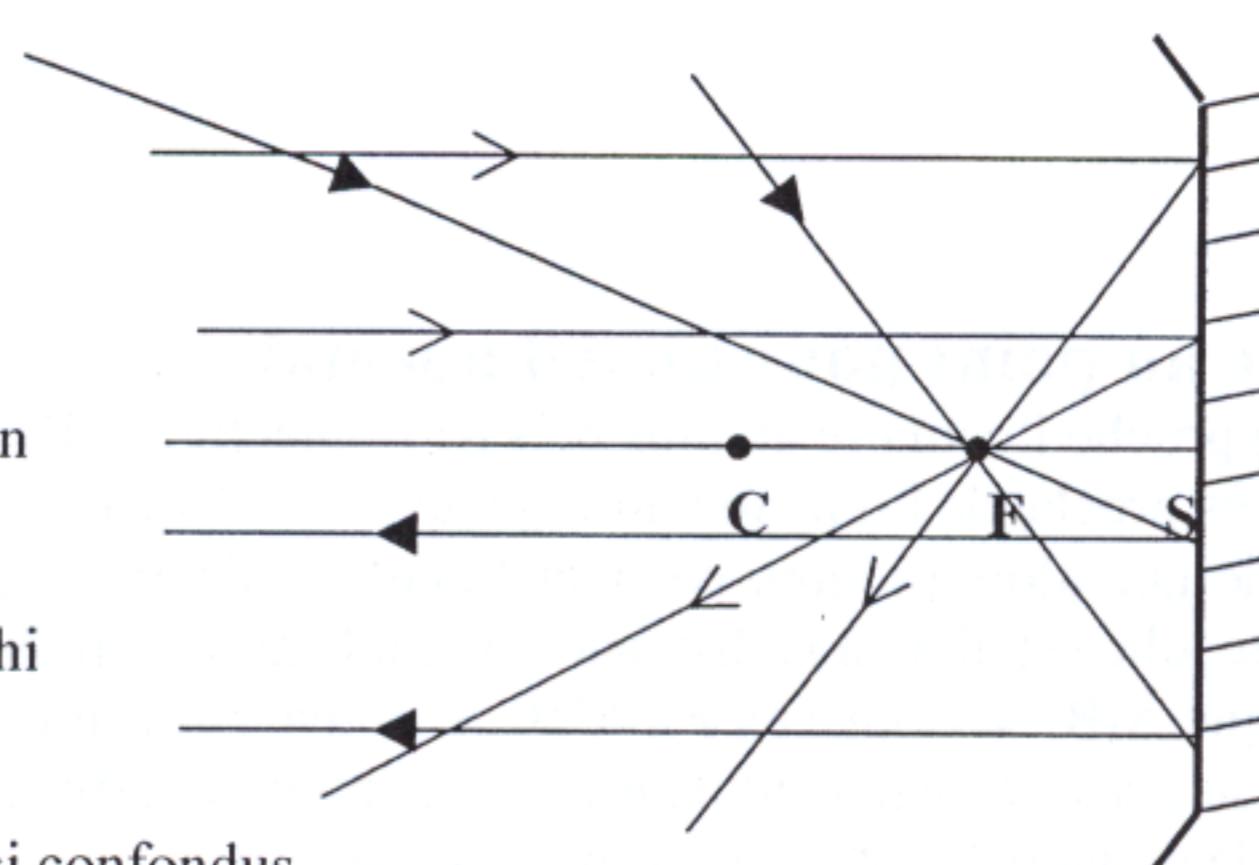
Le foyer F est le milieu du segment qui joint le sommet S et le centre C.

$$SF = CS/2$$

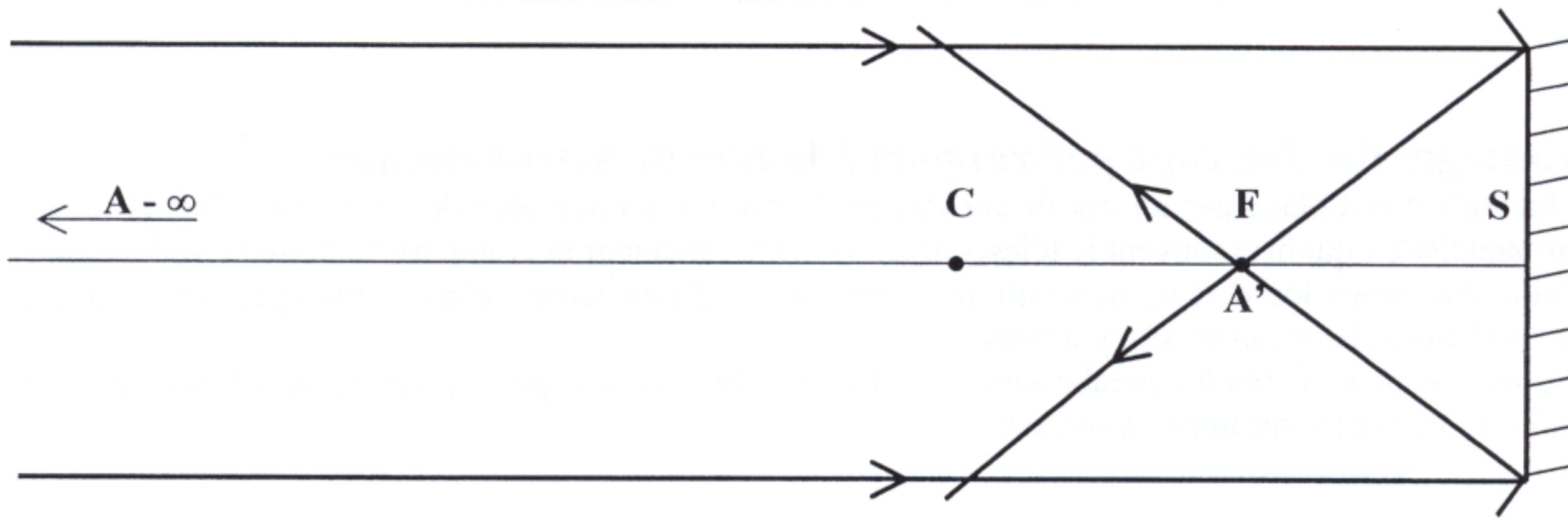
Tout rayon incident parallèle à l'axe est réfléchi en passant par le foyer.

Tout rayon incident passant par le foyer est réfléchi parallèlement à l'axe.

Remarque : le foyer image et le foyer objet sont ici confondus.



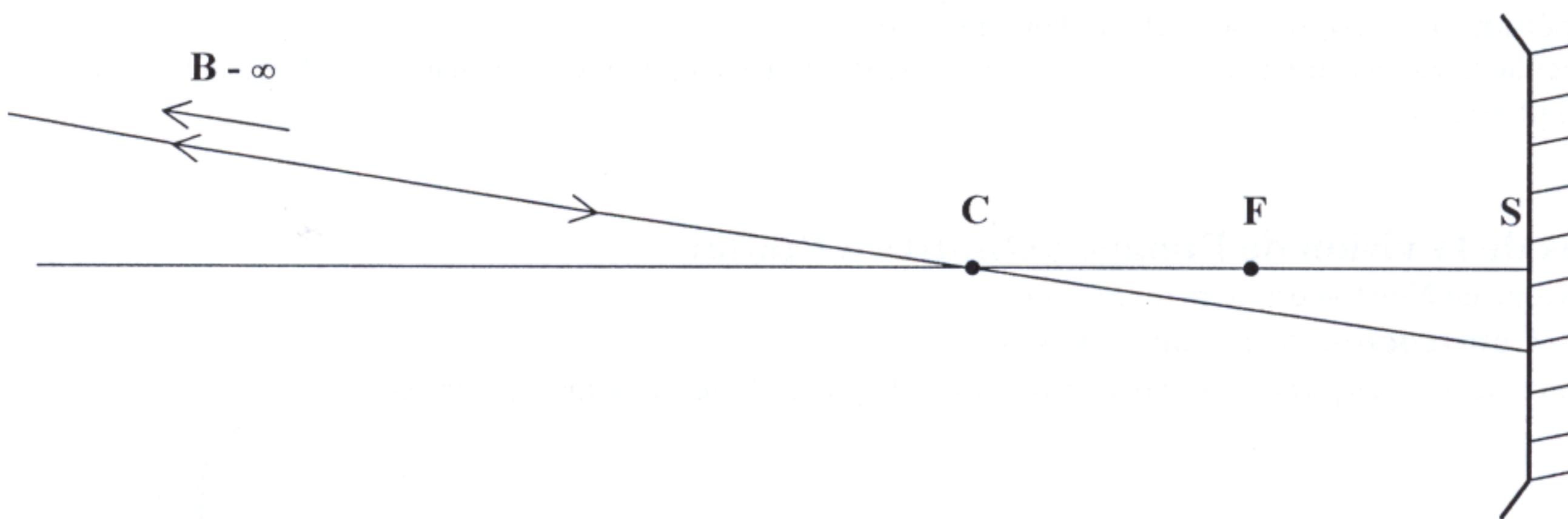
3- Image d'un point situé à l'infini sur l'axe



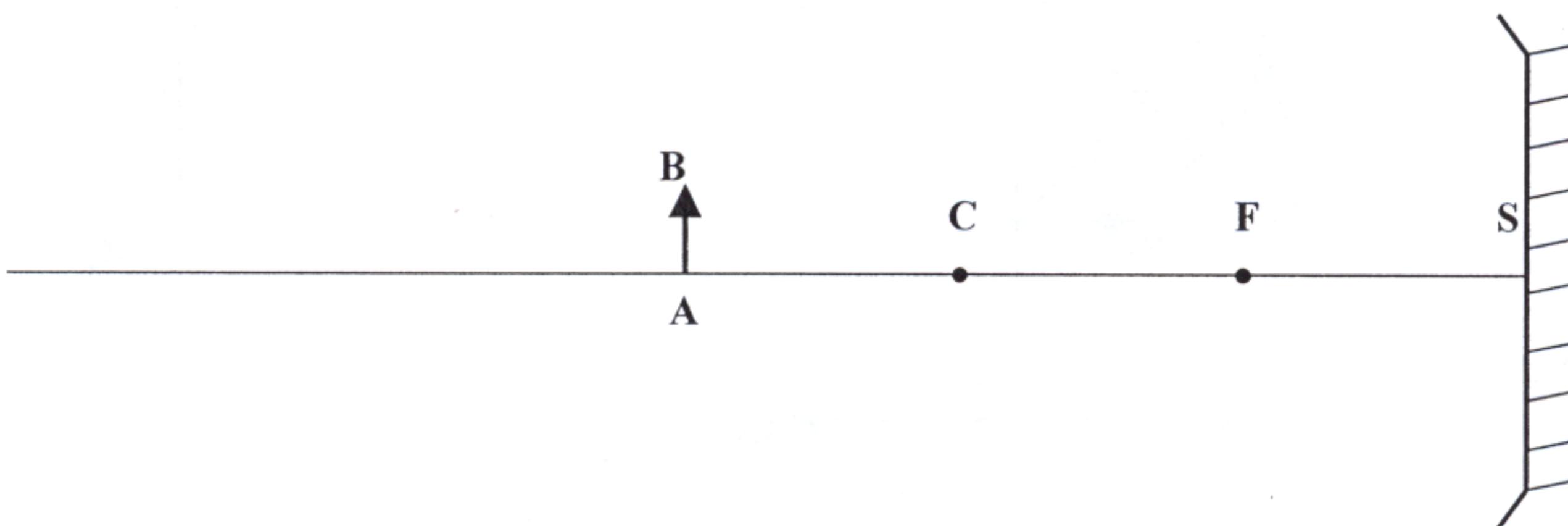
4- Construction de l'image d'un objet plan perpendiculaire à l'axe optique

Construire, dans chaque cas, l'image $A'B'$ et les 2 rayons limitants le faisceau issu de B permettant de construire B' .

4-1- Objet à l'infini



3-2- Objet entre l'infini et le foyer



LE TELESCOPE DE NEWTON

1- Avantages du télescope par rapport à la lunette astronomique

- L'objectif est remplacé par un miroir convergent (c'est la première idée de Newton) ; c'est la raison pour laquelle on qualifie souvent le télescope de système réflecteur et la lunette de système réfracteur.
- Celui-ci est moins lourd et ne nécessite le polissage que d'une seule surface ; ainsi peut-on atteindre plus facilement des diamètres importants.
- De plus, on peut le rendre parabolique plutôt que sphérique ce qui permet de se placer dans les conditions de Gauss sur toute sa surface.

2- Description du télescope de Newton

Document 2 page 30 et document 4 page 31 du manuel

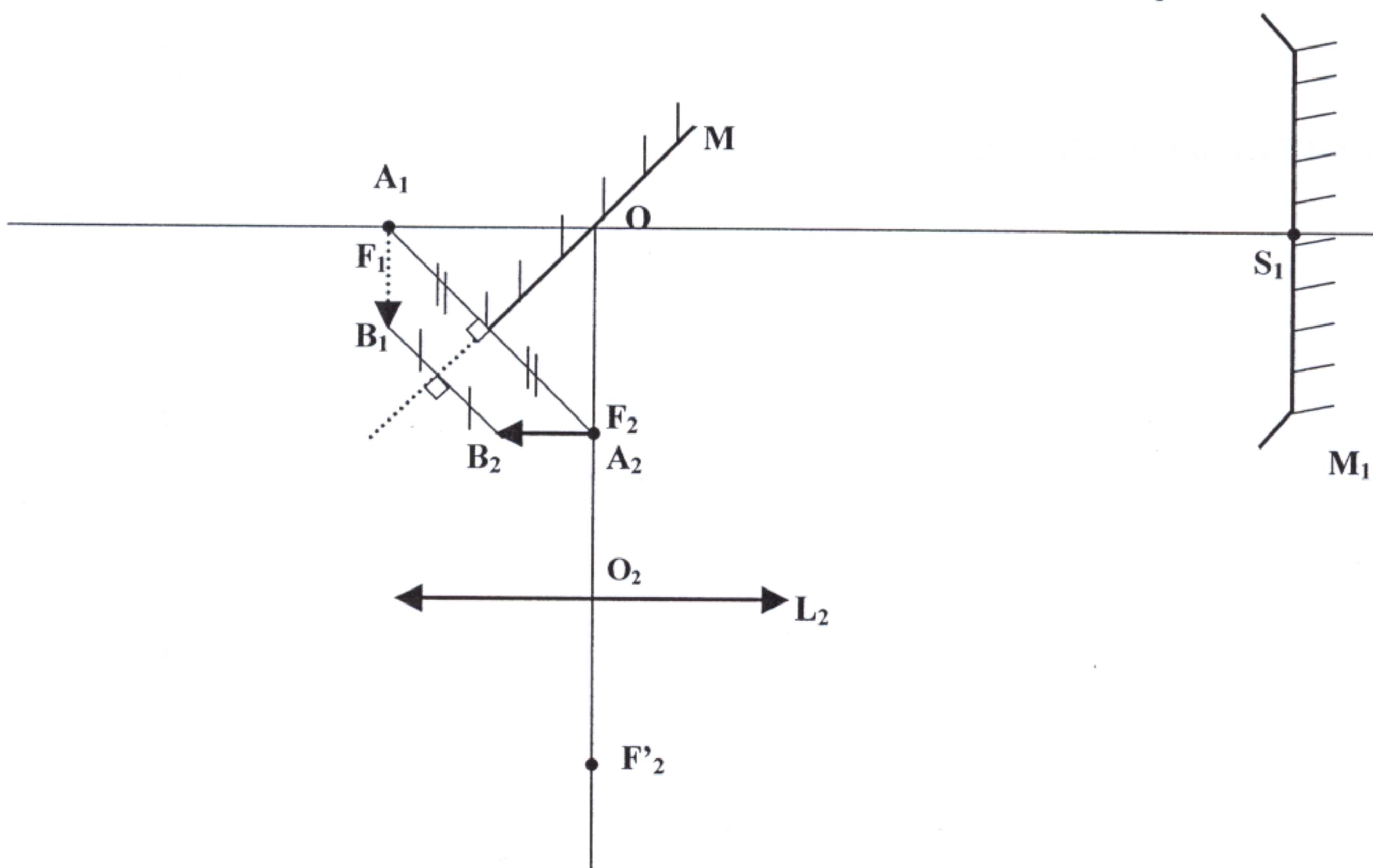
- La caractéristique particulière du télescope de Newton est de posséder, en plus du miroir parabolique dit primaire, un miroir secondaire (c'est la seconde idée de Newton), permettant de renvoyer la lumière vers un oculaire dont l'axe est perpendiculaire à celui du miroir primaire.
- Le miroir primaire est assimilé à un miroir sphérique convergent noté M_1 (cela simplifie l'étude) ; il a une grande distance focale f'_1 pour que l'image A_1B_1 , renversée de l'astre AB, située à son foyer image soit grande.
- Le miroir secondaire est un petit miroir plan noté M (il est de faible taille pour intercepter le moins possible des faisceaux incidents issus des points de l'astre AB) ; il se forme alors une image A_2B_2 symétrique de A_1B_1 par rapport au plan du miroir.
- L'oculaire est assimilé à une lentille convergente notée L_2 ; il forme, à partir de A_2B_2 , une image définitive $A'B'$.

3- Cas de la vision de l'image définitive à l'infini

Le télescope de Newton est alors dit afocale.

3-1- Construction des images successives

Construire AB en indiquant son diamètre apparent θ ; faire de même pour $A'B'$ en indiquant θ' .



3-2- Grossissement

$$G = \theta'/\theta$$

$$\theta = A_1 B_1 / f_1$$

$$G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{A_1 B_1 / f_2}{A_1 B_1 / f_1} = \frac{f_1}{f_2} \rightarrow G = \frac{C_2}{C_1}$$

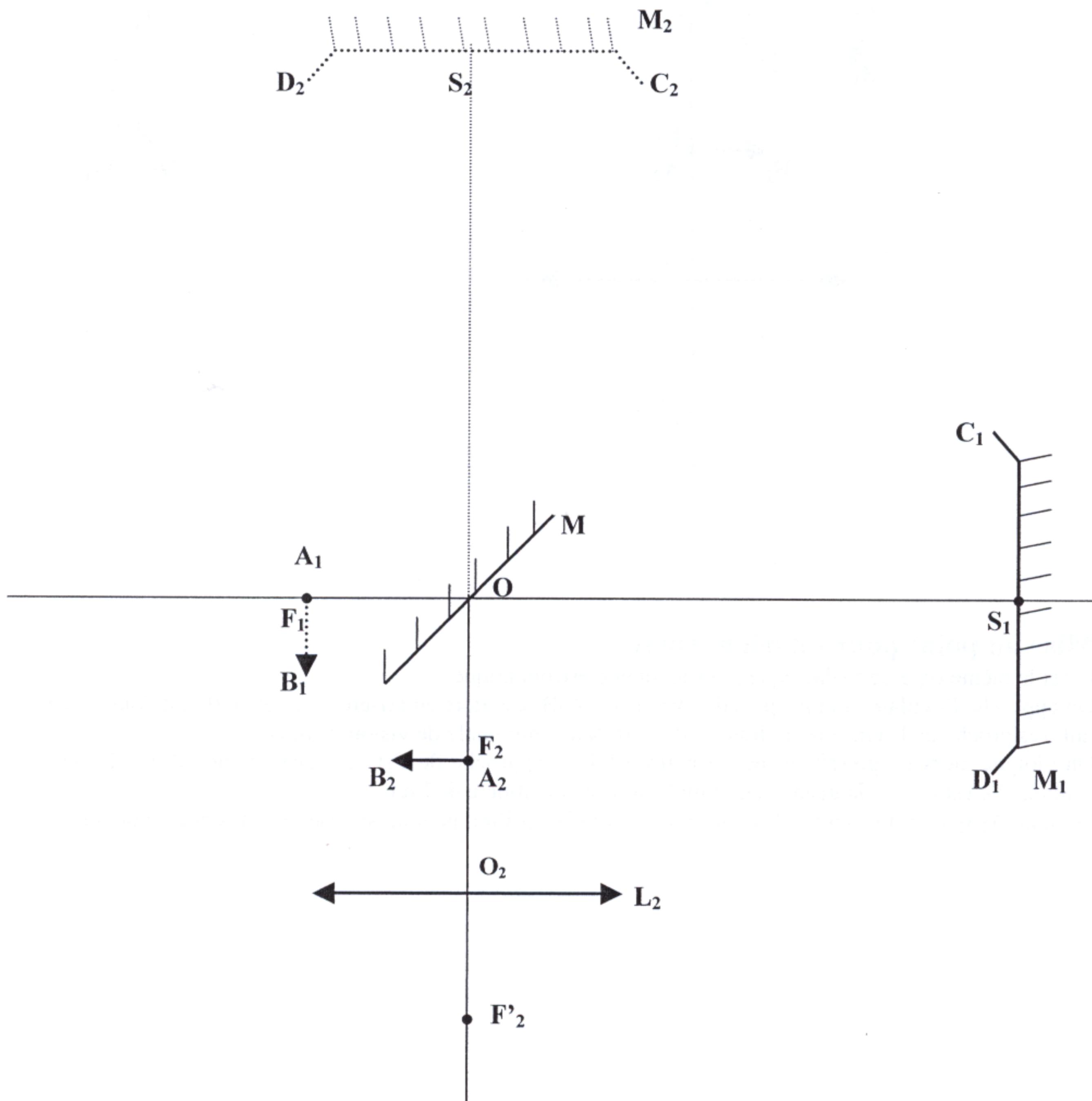
$$\theta' = A_1 B_1 / f_2 \text{ (voir loupe)}$$

$$A_2 B_2 = A_1 B_1$$

3-3- Le cercle oculaire

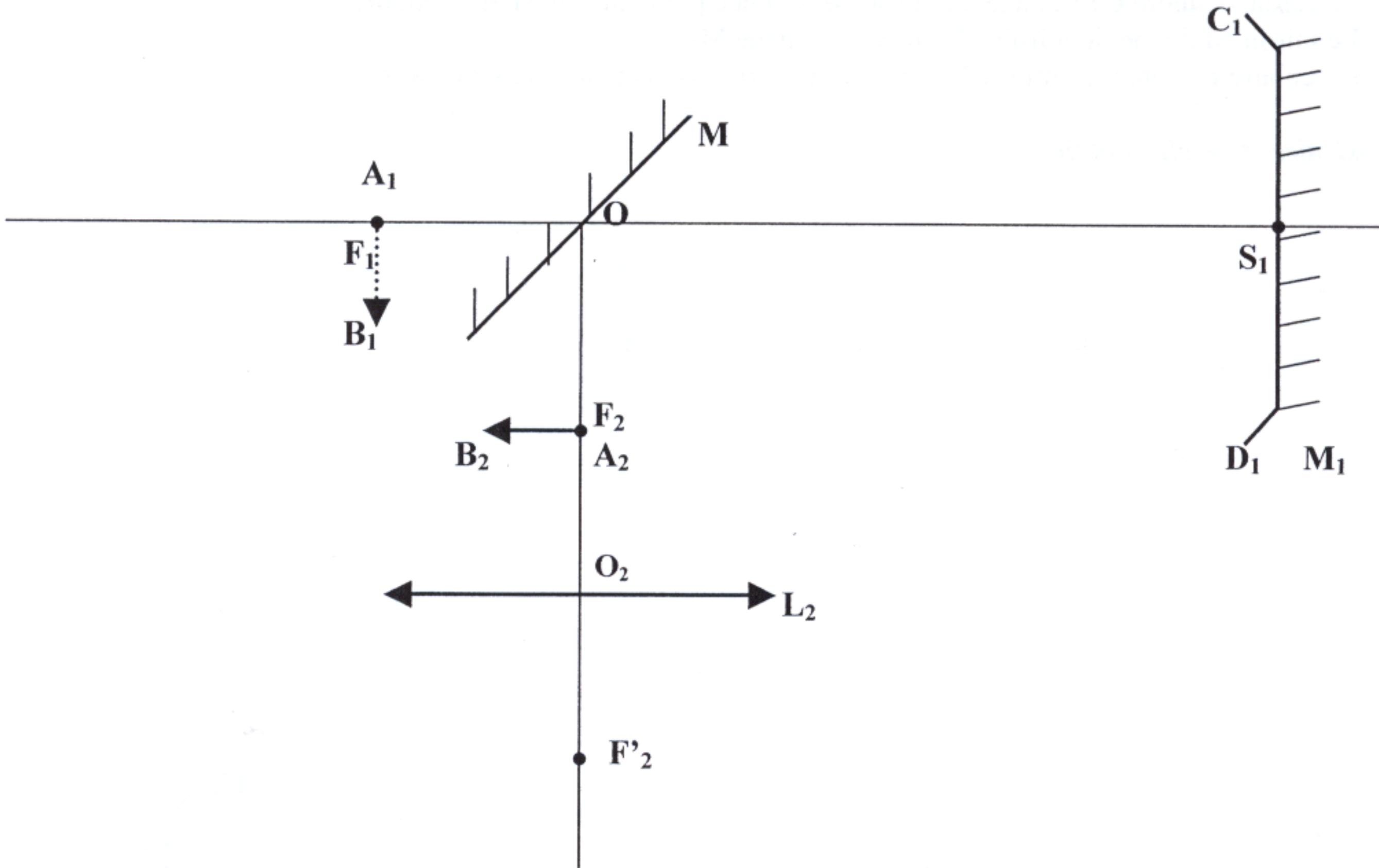
- Le cercle oculaire est l'image du miroir M_1 donnée par le miroir M et l'oculaire L_2 .
- Le miroir M donne du miroir M_1 un miroir image M_2 .
- L'oculaire L_2 donne du miroir M_2 une image correspondant au cercle oculaire.

Construire le cercle oculaire.



3-4- Marche du faisceau issu de B

Reproduire AB et le cercle oculaire ; tracer la marche du faisceau issu de B s'appuyant sur le contour du miroir M_1 et permettant d'observer B' .



4- Mise au point pour un œil normal

- C'est le même type de réglage que pour la lunette astronomique.
- On approche l'oculaire au plus près du miroir M ; A_2B_2 est alors en arrière de F_2 et $A'B'$ est donc de ce fait très proche de l'œil, soit au-dessous de sa distance minimale de vision distincte.
- On éloigne alors progressivement l'oculaire (A_2B_2 s'approche de F_2) ; lorsque l'image $A'B'$ devient visible, elle est alors à la distance minimale de vision distincte de l'œil.
- Lorsque A_2B_2 se trouve en F_2 , $A'B'$ se trouve à l'infini et l'œil peut ainsi observer sans accommoder.